

Prediction of Departure Delay Based on Multiple Forms of Conflict

Kai Liu, Ming Zhang, Xianglu Kong

Civil Aviation College, Nanjing University of Aeronautics, Nanjing Jiangsu
Email: 429451658@qq.com

Received: Dec. 19th, 2017; accepted: Jan. 1st, 2018; published: Jan. 8th, 2018

Abstract

With the increase of air traffic, terminal airspace capacity and operating efficiency dropped sharply, so that flight delays are serious. In this paper, we proposed the departure delay prediction model, which divides the departure process into two stages: the taxiing-out stage and the queuing stage. The taxi-out delay and queuing delay are calculated respectively, so as to get the total departure delay. The effect of conflicts is taken into account in the process of calculating taxi-out delays. Finally, through comparing the actual delay data of Qingdao airport and the simulation data, it is shown that the proposed model of departure delay can predict the delay value of flight departure accurately and provide accurate basis for flight operation.

Keywords

Flight Delay, Delay of Taxi-Out, Delay of Departure Queues, Conflict, Unimpeded Taxi-Out Times

基于多种场面冲突形式的离场延误预测

刘 凯, 张 明, 孔祥鲁

南京航空航天大学民航学院, 江苏 南京
Email: 429451658@qq.com

收稿日期: 2017年12月19日; 录用日期: 2018年1月1日; 发布日期: 2017年1月8日

摘 要

随着空中交通流量增加, 终端空域容量及运行效率急剧下降, 使航班延误现象严重。本文提出离场延误预测模型, 将离场过程分为滑行阶段和排队阶段两部分, 分别计算航班的滑行延误和排队延误, 从而得到航班的离场总延误。在计算滑行延误的过程中考虑了场面冲突的影响。最后, 通过青岛机场的实际延

误数据和仿真计算预测的数据对比,表明本文提出的离场延误预测模型能够较为准确的预测航班离场延误值,能为航班运行提供准确依据。

关键词

离场延误, 滑行延误, 离场排队延误, 场面冲突, 无障碍滑行时间

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着民航业的发展,终端区容量与需求之间的不平衡越来越明显,航班延误问题经常发生。中国 2015 年客运航空公司共执行航班 337.3 万班次,平均航班正常率仅为 68.33%,天气原因引起的航班延误所占比例 29.53% [1]; 2015 年,美国国家空域系统由天气原因导致的航班延误比例高达 53.1% [2]。为了减少延误,提高航班正点率,对航班延误的分析及预测势在必行。

从多年前开始,国外就有专门的队伍进行这方面的研究。Allan S. S.等[3]运用纽瓦克机场的数据,通过数据库开发工具分析了天气与航班延误之间的联系。Yufeng Tu 等人[4]提出了一个根据空中交通拥堵的预测模型估算航班离场延误分布的模型用来预测的空域拥堵水平。Nikolas Pyrgiotis 和 Ioannis Simaiakis 等人[5] [6]将离场过程建模成一个 $M(t)/E_k(T)/1$ 的排队系统,采用排队论计算离场的初始延误。Alexandre Jacquillat 等人[7]针对机场拥堵缓解需要实际延误评估的问题,提出了一个机场拥堵的综合模型。该模型将到达和离场服务率的内生控制结合到了随机和动态的排队模型中。

相对来讲,我国对航班延误的研究起步较晚,更多停留在管理学方面的损失评估和流量控制方面[8] [9]。赵焱飞[10]等人构建了航班延误等级综合评估模型,跟踪航班整个运行阶段的延误状况。丁建立等人[11]针对机场航班运行的特点,提出了 DCS-DES 组合方法,用于预测下一时段航班的延误数量。张静[12]构建了瞬时排队和模糊线性回归模型,对机场到达延误进行评估。

综上所述,相对于根据影响离场延误的因素并通过大量历史数据的分析预测延误值的方法,通过排队模型计算离场延误更为有效,但是现在使用的大多数离场排队模型都没有详细考虑离场过程中各个环节实际产生的延误,这会漏掉某一环节的延误,使得估算的延误与实际的延误有着较大的误差。离场延误包括场面滑行延误和离场排队延误。因此,在计算离场延误时,详细计算离场过程的各个环节的延误是必不可少的。本文根据离场过程将离场延误分为两部分:滑行延误和离场排队延误。并在计算滑行延误时详细考虑了多种场面滑行冲突形式的影响,使得对离场总延误的预测更加的切合实际。

2. 模型假设及相关概念

2.1. 模型假设

本文的研究内容主要分为两个部分,第一部分为离场延误时间预测,由于本文侧重研究场面的滑行时间延误,因此为了方便研究,我们就以单跑道模式为例,并作出如下假设:

- 1) 机场对未来某一时段内的风向、能见度等天气状况,以及进离场交通需求等信息均可进行可靠预测;
- 2) 机场未来天气的预测周期可被划分为若干个等距时间片,每个时间片大小为 1 h;
- 3) 每个时间片的机场天气条件以及跑道运行模式保持不变;

- 4) 进离场航空器遵循进场优先原则;
- 5) 同一时间同一跑道只能有一架航空器占用。

2.2. 相关概念及符号表示

为了方便研究,本章在研究过程中将会采用较多的符号,详细表示如下表所示:

- $R(t)$: 在时间段开始时在场面而不在离场队列的航空器数量
 $\tau(i)$: 航空器 i 的滑行时间
 $\tau_{unimped}(i)$: 航空器 i 的无障碍滑行时间
 $\tau_{taxiway}(i)$: 由于停机坪和滑行道的航空器间隔导致的航空器 i 的延误
 $\tau_{travel}(i)$: 航空器 i 的滑行时间
 $\tau_{dep.queue}(i)$: 航空器 i 在离场队列中所用的时间

3. 航班离场延误模型

如图 1 所示,离场过程包含两个模块:飞机从登记口推出到滑至跑道端的过程和航班在跑道端排队等待至起飞的过程。

照这样模拟离场程序,每一架航空器的离场时间 τ 可以表示为:

$$\tau = \tau_{travel} + \tau_{dep.queue} \quad (1)$$

所以依照公式(1)本文将一架航空器的离场时间分为场面滑行时间(τ_{travel})和离场排队时间($\tau_{dep.queue}$)两部分分别进行讨论。下面我们分别对这两个部分进行详细介绍。

3.1. 滑行时间预测

模型的第一个模块计算了飞机从停机位至跑道端的滑行时间(图 1)。相关过程可以从概念上描述如下:飞机根据推出计划从停机位推出。飞机逐步进入停机坪和滑行道系统,最后到达跑道的离场队列,该离场队列是由于离场跑道的阈值形成的。在滑行阶段中,航空器之间相互作用相互影响。例如,航空器排队以便于进入停机坪的一个有限的区域,穿过使用中的跑道,或者进入另一架航空器滑行的滑行道段,又或者重新路由以避免经过已经拥堵的地点。这些空间分布的队列被累积地表示为停机坪和滑行道相互作用,并且相关联的延误由加法项表示, $\tau_{taxiway}$ 。每架离场航空器的滑行时间 τ_{travel} 可以被表示为:

$$\tau_{travel} = \tau_{unimped} + \tau_{taxiway} \quad (2)$$

公式中的第一项 $\tau_{unimped}$,表示的是航班正常或者无障碍的滑行时间。这是场面上只有一架航空器时,航空器的离场过程中所花费的时间。公式的第二项 $\tau_{taxiway}$,表示的是由于其他航空器正滑向离场队列时

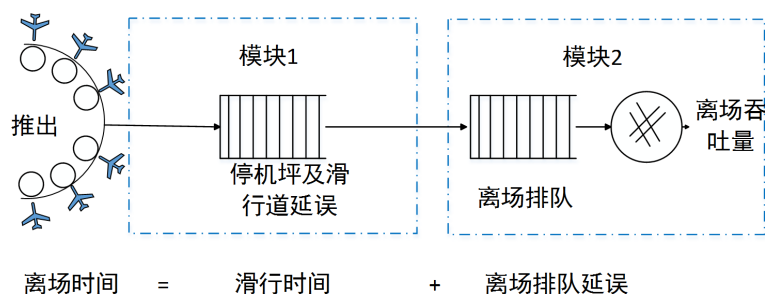


Figure 1. Departure process model

图 1. 航空器离场过程示意图

通过停机坪或者是滑行道时导致航空器产生的延误。这种延误的严重程度将取决于滑行的飞机之间的相互作用的确切性质，即停机坪和滑行道的拥挤水平和位置。

3.1.1. 无障碍滑行时间计算

FAA 定义无障碍滑行时间是在最优的操作条件下，即没有拥堵、天气和其他因素影响飞机从停机位移动到起飞跑道的滑行时间[1]。鉴于本节的研究重点在于考虑冲突时的滑行时间预测，故对于无障碍滑行时间的计算不作详细研究，只进行简要计算。

根据定义可知，在没有拥堵、天气和其他因素的影响下，无障碍滑行时间仅与滑行距离和滑行速度有关，换句话说也就是只与停机位和机型有关。

$$\tau_{\text{unimped}} = S_{wi} / v_i \quad (3)$$

其中， S_{wi} 代表的是起点或终点是编号为 i 的停机位的航班的场面滑行距离， v_i 表示的是不同机型的场面滑行速度。

通过统计机场不同滑行道距离跑道端的距离，并结合各航空器的场面滑行速度，根据公式(2-2)即可得到无障碍滑行时间 τ_{unimped} 。为了方便起见，在计算过程中并不考虑滑行速度的改变，我们认为航空器在场面滑行过程中是匀速的。

3.1.2. 滑行延误计算

等式(2)中剩余的未建模项，即 τ_{taxiway} ，表示在停机坪和滑行道上排队的影响。这一项是最难估计的，因为没有明确的操作条件。考虑滑行道拥挤效应，我们可以统计滑行道系统 $(R(t))$ 的飞机数量，特别有助于航空器滑行过程中滑行延误的估计。

Ioannis Simaiakis [6]提出的方法中考虑了停机坪和滑行道上航空器之间的相互作用，使得航空器从其停机位到跑道排队的滑行时间取决于其无阻碍的滑行时间以及当时在停机坪和滑行道上的交通量，将等式(2)作了修改。修改后的方程变为：

$$\tau_{\text{travel}} = \tau_{\text{unimped}} + \alpha R(t) \quad (4)$$

$\alpha R(t)$ 项是用于建模停机坪和滑行道上的离场航空器之间的相互作用的线性项。 α 是依赖于机场和跑道配置的一个参数。可以选择其值来产生实际和建模分布之间的最佳拟合。 α 值的确定过程：统计大量离场航班的滑行时间以及航班滑行时处于停机坪和滑行道系统中的航空器(已推出)数量，根据已求得的无障碍滑行时间，将航空器的滑行时间 τ_{travel} 与无障碍滑行时间 τ_{unimped} 的差值作为因变量， $R(t)$ 作为自变量，进行拟合。从而确定 α 的最优值。

虽然上述修改对航空器的离场滑行时间的预测有了明显改进，但这只是从统计意义上对滑行时间的预测起了修正作用，并未仔细区分停机坪和滑行道的什么因素导致了滑行时间的改变。为了更深入的研究停机坪和滑行道对滑行时间的影响作用，在本文将引入停机坪和滑行道的航空器之间的滑行冲突。

航空器在机场场面滑行过程中，必须保证相互间的安全距离。当不同航空器在相同或相近的时间内需要通过同一节点或边时则可能发生冲突。如图 2 所示，冲突主要分为以下几种形式。

结合实际条件，根据每架航空器在其从停机位滑行到跑道端的过程中经历不同冲突的概率是不同的，我们定义航空器不经历冲突、经历交叉冲突、追尾冲突和对头冲突的概率分别为 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ 。这些概率之间满足以下关系：

$$\beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1 \quad (5)$$

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ 概率值的确定方法：是通过对所研究机场的不同航班在其离场过程中所经历的冲突数进行统计分析，从而确定 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ 。



Figure 2. Airport scene conflict diagram
图 2. 场面冲突示意图

通过以下公式即可计算航空器在滑行过程中经历不同种冲突对于航空器经历不同跑道冲突的滑行时间的预测公式如下:

A、无冲突

$$\tau_{\text{travel}}^0 = \tau_{\text{unimped}} + \alpha\beta_0 R(t) \quad (6)$$

B、交叉冲突

$$\tau_{\text{travel}}^1 = \tau_{\text{unimped}} + \alpha\beta_1 R(t) \quad (7)$$

C、追尾冲突

$$\tau_{\text{travel}}^2 = \tau_{\text{unimped}} + \alpha\beta_2 R(t) \quad (8)$$

D、对头冲突

$$\tau_{\text{travel}}^3 = \tau_{\text{unimped}} + \alpha\beta_3 R(t) \quad (9)$$

根据公式(6)到(9)我们就可以得到考虑不同冲突形式下航空器滑行时间的预测值。我们将 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ 分别作为不同冲突下滑行时间对我们要的滑行时间预测值的权重。故可以得到:

$$\tau_{\text{travel}} = \beta_0 \tau_{\text{travel}}^0 + \beta_1 \tau_{\text{travel}}^1 + \beta_2 \tau_{\text{travel}}^2 + \beta_3 \tau_{\text{travel}}^3 \quad (10)$$

航班实际滑行时间的预测: 根据机场推出计划以及管制员制定的航空器的滑行路径, 估算每一架航空器在其滑行过程中会经历何种冲突, 并统计其滑行过程中停机坪和滑行道系统中的航空器(已推出)数量。根据已求得的航空器无障碍滑行时间以及上述统计数据, 通过等式(10)即可预测每一架航空器的滑行时间。

根据已经计算得到的滑行时间以及无障碍滑行时间, 并结合公式(2)即可得到滑行延误。

3.2. 离场排队延误评估

受排队长度、排队期间降落航班、不同机型的机翼尾流、飞行员控制情况、流控及跑道突然关闭等因素的影响, 导致离港航班在跑道端排队等待起飞时间差异较大。本节讨论航班在跑道端排队等待起飞延误时间的预测。

利用排队论对单跑道的延误时间进行研究, 以离场航班作为服务对象, 机场中跑道端为等候区, 跑道作为服务台, 起飞规则服从先到先服务, 离场航班计划的间隔时间服从负指数分布, 即航班计划近似认为服从非均匀的泊松过程。

选取一天 24 h 的航班计划和机场容量作为排队模型的输入, 由于机场天气条件呈现随机动态性, 相应的飞行规则、管制间隔将发生变化, 故机场容量呈现随机动态性。

将一天 24 h 划分为 24 个等距时间片, 每个时间片大小为 1 h, 统计每个时间片的航班计划, 计算每个时间片的机场离场容量, 得到一天中的需求分布和容量分布, 分别求得排队模型的到达率和服务率。

定义 ρ 为服务机构的利用率, 表示在相同时间片内航班到达率与航班服务率的比值, 故离场跑道的

利用率为

$$\rho_t^d = \frac{\lambda_t^d}{\mu_t^d} \quad (11)$$

其中, λ_t^d : 第 t 个时间片的到达率为 $\lambda_t^d = \frac{D_t^d}{60}$; μ_t^d : 第 t 个时间片的服务率为 $\mu_t^d = \frac{C_t^d}{60}$; t : 第 t 个时间片, $t=1,2,\dots,24$; C_t^d : 第 t 个时间片的机场离场容量; D_t^d : 第 t 个时间片的离场航班需求; 离场航班排队延误时间 W_t^d 计算如下:

$$W_t^d = \frac{\rho_t^d}{\mu_t^d - \lambda_t^d} \quad (12)$$

其中, W_t^d : 第 t 个时间片的离场航班的平均等待时间, 即离场排队延误时间。

4. 实验仿真及结果分析

本文以青岛流亭机场 2017 年 04 月全天的进离场数据为基础, 利用 Visio Basic 对青岛机场的航班场面滑行过程进行仿真, 从而确定不同航空器在不同滑行路径的无障碍滑行时间以及一架航空器在其离场过程中经历冲突形式及冲突次数的统计。根据仿真所得的数据结果对离场延误进行评估计算。

根据青岛机场实际的机型统计数据, 进离场航班各占 50%。重型机所占比例为 4.08%, 中型机所占比例为 95.92%。航班所用机型主要为: A320、A330、B737 和 B738。

4.1. 场面滑行时间及延误时间预测

1) 无障碍滑行时间评估

根据已统计的各停机位进离场的滑行距离, 结合不同机型的场面滑行速度, 根据公式(3)即可得到航班的无障碍滑行时间。虽然不同的停机位可能会导致滑行时间有所不同, 但其计算方法并无差别, 故在此我们仅以其中常用的 15 个停机位为例进行研究。

由表 1 中可以看出, 无障碍滑行时间的长短与停机位的位置以及机型有关。

2) 考虑各种冲突形式下的滑行时间计算

由于现有数据中缺乏场面滑行中航班所遭遇冲突数据的统计, 因此本文通过已有数据, 对青岛机场的场面运行进行仿真, 多次仿真后得到航班场面运行中所遭遇的冲突, 并根据仿真数据计算算不同冲突形式所占比例, 结果如图 3 所示。

由图 3 可知, 青岛机场场面运行中, 航班不经历冲突的概率为 66%, 经历交叉冲突的概率为 20%, 经历追击冲突的概率为 10%, 经历对头冲突的概率为 4%, 统计结果符合现实, 因为根据机动区冲突多发地带运行要求, 在给航班规划滑行路径时应最大限度的避免对头冲突的情况发生。

故 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ 的值分别为 66%、20%、10% 和 4%, 显然符合公式(5)的要求。接下来分别计算不同冲突形式下的滑行时间。

本文以其中 15 个停机位的航班为例进行研究。根据仿真计算所得的不同机型的不同停机位的无障碍滑行时间以及不同航班的实际滑行时间并结合公式(4), 得到 α 的值为 1.3539。

根据公式(6)~(10)并结合实际运行数据, 即可求得基于场面滑行冲突的滑行时间预测值, 在结合计算的无障碍滑行时间, 即可对预测值及理想值进行分析, 如图 4。

由图 4 可知, 考虑各种冲突形式下的滑行时间的预测值与实际的滑行时间波动趋势基本相同, 且除了一些特殊的点外, 大体上预测值跟实际值相近, 这是因为并未考虑天气和管制的影响。因此可以认为,

本文提出的考虑各种冲突形式的滑行时间预测算法是可行的，且有实用价值。

3) 滑行延误时间预测

根据公式(2)结合已经计算的滑行时间预测值，即可得到滑行时间延误的预测值，如图5所示。

Table 1. Unimpeded taxi-out time of all parking spaces at Qingdao Airport

表 1. 青岛机场各停机位无障碍滑行时间

停机位	滑行时间/秒							
	进场				离场			
机型	A320	A330	B737	B738	A320	A330	B737	B738
5	224.32	274.16	197.40	246.75	166.24	203.18	146.29	182.87
6	215.68	263.60	189.79	237.24	169.74	207.46	149.37	186.71
7	207.30	253.36	182.42	228.03	173.52	212.07	152.69	190.87
8	198.68	242.83	174.84	218.55	179.53	219.43	157.99	197.48
9	192.91	235.78	169.76	212.20	192.79	235.63	169.65	212.07
10	192.89	235.76	169.75	212.18	192.77	235.61	169.64	212.04
11	196.08	239.65	172.55	215.69	196.28	239.89	172.72	215.91
12	176.72	215.99	155.51	194.39	202.03	246.93	177.79	222.23
13	171.59	209.72	151.00	188.74	250.03	305.59	220.02	275.03
14	167.40	204.60	147.31	184.14	245.84	300.47	216.34	270.42
15	163.35	199.64	143.74	179.68	241.97	295.74	212.94	266.17
16	169.22	206.82	148.91	186.14	244.73	299.11	215.36	269.20
17	169.62	207.31	149.27	186.58	248.35	303.54	218.55	273.18
18	175.03	213.93	154.03	192.54	253.43	309.75	223.02	278.77
19	179.47	219.36	157.94	197.42	257.85	315.16	226.91	283.64

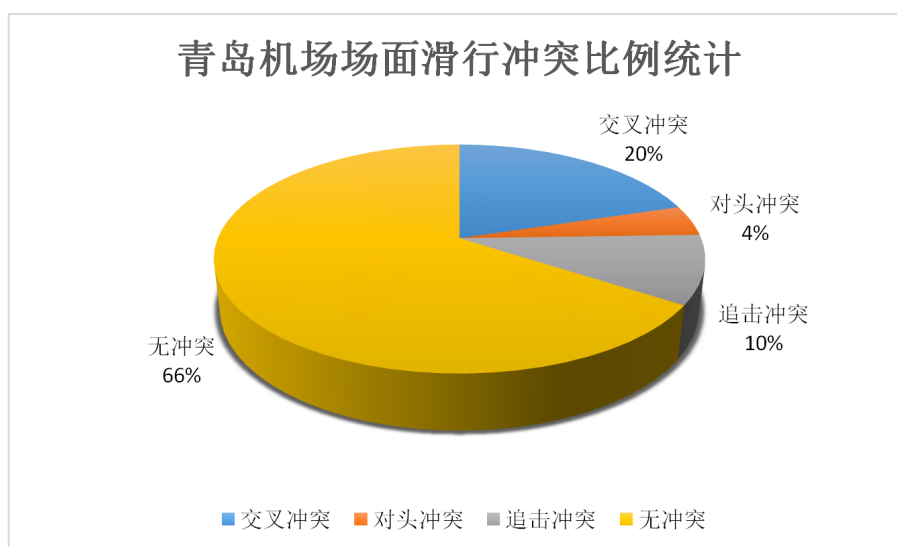


Figure 3. Qingdao airport scene taxi conflict ratio statistics

图 3. 青岛机场场面滑行冲突比例统计

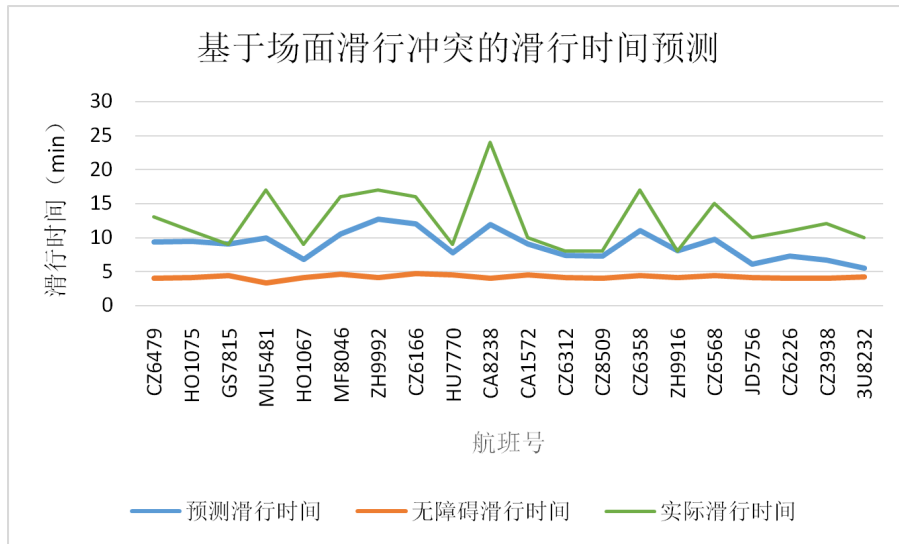


Figure 4. Travel time prediction based on scene conflict
图 4. 基于场面滑行冲突的滑行时间预测

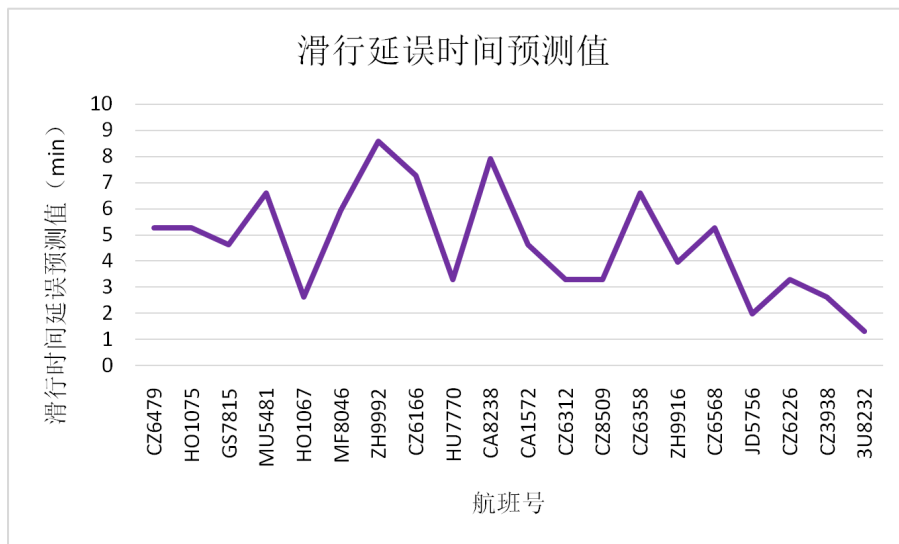


Figure 5. Taxi delay time prediction
图 5. 滑行延误时间预测

4.2. 离场排队延误时间预测

青岛机场传统仪表运行模式的离场容量为 22 架/h, 离场服务率为 0.37 架/min; 进场容量为 23 架/h, 离场服务率为 0.38 架/min。

取青岛机场 2017 年 04 月 01 日的航班计划, 统计分析得到该日 24 小时的需求按照时间的分布如表 2 所示。

根据公式(12)即可分别计算不同时间段的离场排队延误分布状况, 具体结果如图 6 所示。

4.3. 离场延误时间预测

到此我们已经分别计算了离场过程中的滑行延误和离场排队延误, 总延误即为两者之和, 如图 7 所示。

Table 2. Flight plan demand distribution
表 2. 航班计划需求分布

时间(h)	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
进场需求	17	5	0	0	1	0	0	2	10	17	10	14
离场需求	1	1	1	0	2	3	12	17	16	10	15	13
时间(h)	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
进场需求	17	16	13	14	16	14	11	15	13	11	11	14
离场需求	10	15	14	16	13	14	17	11	14	15	10	2

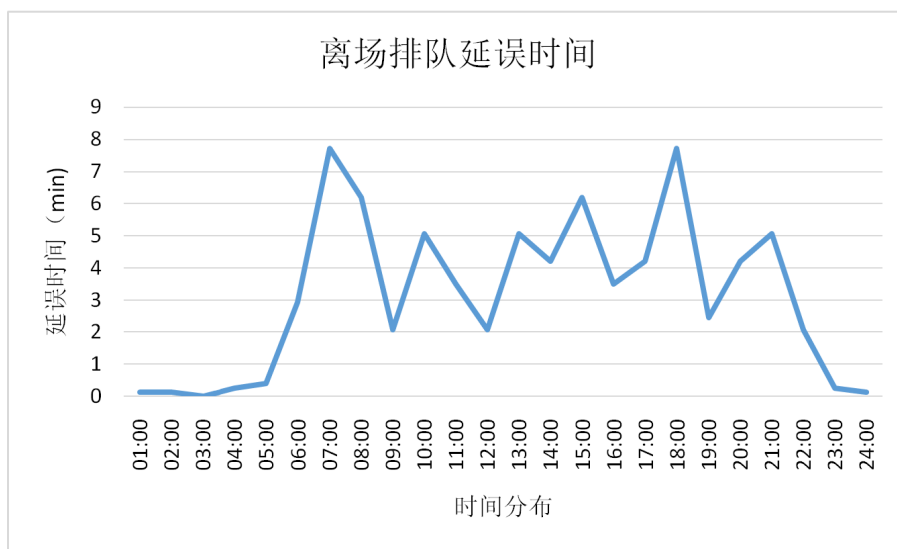


Figure 6. Departure queuing delay time prediction

图 6. 离场排队延误时间预测

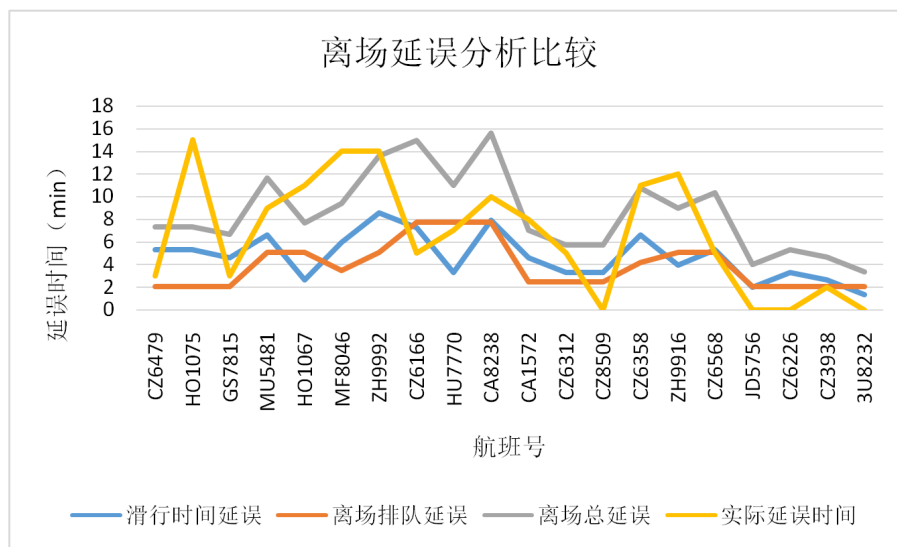


Figure 7. Analysis of departure delay time

图 7. 离场延误时间分析

由图 7 可以看出, 离场总延误预测值与实际延误时间波动趋势基本相同, 且出去一些极端的情况, 从总体上来看预测的总延误与实践延误比较吻合。由于我们在预测离场延误时, 并没有考虑延误传播的影响, 因此离场总延误值与实际延误值之间有所差距。由此可见, 本文提出的离场延误时间预测模型对离场延误的预测具有实际应用价值。

5. 结束语

本文在研究滑行延误时引入了场面滑行冲突形式对滑行延误的影响。这既弥补了前人计算离场延误只考虑离场排队延误的不足, 同时也完善了滑行时间延误预测方法。最后本文以青岛流亭机场为例, 利用 Visio Basic 软件对航班的离场过程进行仿真, 并根据离场过程将离场延误分成滑行延误和离场排队延误两部分分别进行预测计算。并与实际延误进行分析比较, 结果表明该离场延误计算方法能够较为准确的计算离场延误。由于本文仅考虑了单跑道机场场面滑行及离场排延误的计算, 但实际生活中的繁忙机场多为多跑道机场, 因此为了能更好的应用于实际生活, 今后将进一步分析多跑道机场的场面滑行及离场延误时间的计算。

参考文献 (References)

- [1] 中国民用航空局. 2015 年民航行业发展统计公报[R/OL]. <http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TJSJ/201605/P020160531575434538041.pdf>, 2016-05-30.
- [2] Bureau of Transportation Statistics (2017) Understanding the Reporting of Causes of Flight Delays and Cancellations. <https://www.rita.dot.gov/bts/help/aviation/html/understanding.html#q6>
- [3] Allan, S.S., Beesley, J.E., et al. (2001) Analysis of Delay Causality at Newark International Airport. 4th USA/Europe Air Management R&D Seminar, New Mexico.
- [4] Tu, Y.F., Ball, M.O. and Jank, W.S. (2008) Estimating Flight Departure Delay Distributions: A Statistical Approach with Long Term Trend and Short Term Pattern. *Journal of the American Statistical Association*, **103**, 112-125. <https://doi.org/10.1198/016214507000000257>
- [5] Pyrgiotis, N., Malone, K.M. and Odoni, A. (2013) Modelling Delay Propagation within an Airport Network. *Transportation Research Part C*, **27**, 60-75. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.05.017>
- [6] Simaiakis, I. and Balakrishnan, H. (2015) A Queuing Model of the Airport Departure Process. *Transportation Science*, **50**, 94-109. <https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0603>
- [7] Jacquillat, A. and Odoni, A.R. (2015) Endogenous Control of Service Rates in Stochastic and Dynamic Queuing Models of Airport Congestion. *Transportation Research Part E*, **73**, 133-151. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.10.014>
- [8] 石丽娜. 多等级模糊评价方法在航班延误中的应用[J]. 上海工程技术大学学报, 2006, 20(3): 276-279.
- [9] 徐肖豪, 李雄. 航班地面等待模型中的延误成本分析与仿真[J]. 南京航空航天大学学报, 2006, 38(1): 115-120.
- [10] 赵巍飞, 张亮. 航班延误统计指标体系及延误等级评估研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2009, 7(2): 9-15.
- [11] 丁建立, 李学森, 吕晓杰. 基于 DCS-DES 组合的机场航班延误预测方法[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(17): 3882-3886.
- [12] 张静. 天气影响的机场容量与延误评估研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3431，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojtt@hanspub.org