

航空旅客登机策略研究综述

任新惠, 张思雨

(中国民航大学 经济与管理学院, 天津 300300)

摘要:为了探索合理的登机策略,提升旅客登机效率,提高机场设施利用率,降低航空运营成本,以旅客登机经过的区域为顺序,对旅客登机过程的影响因素进行归纳总结,对现有文献中常见的登机策略进行比较分析。研究认为,办理登机人员行为、登机方式、旅客行为特征、机舱设计等,尤其是廊桥中旅客排列顺序会影响登机效率和登机时间;从外向内和倒金字塔形登机方式具有优势;全新的登机策略应当是组合某几种基本登机策略。同时,现有的登机策略研究主要集中在旅客进入机舱门后,而应当向前延展至通知登机;多关注宽体客机;仿真研究中需要重新测定重要参数等。

关键词:航空运输;登机策略;登机次序;航空旅客;登机过程

中图分类号:V35

文献标志码:A

文章编号:1671-6248(2016)01-0030-06

航空旅行以其快速便捷的优势,成为人们重要的出行方式。根据波音公司调研,旅客登机时间在过去的数十年里翻了一倍。现在140人的国内航班登机用时为30~40 min,而20世纪70年代最多花费15 min^[1]。旅客登机的实际速度降低了50%以上,降至9人/min^[2]。空客也以A321机型为例做了相关研究^[3],正常航班过站时间为24 min左右,登机过程由于受到登机门、机舱门、机舱通道等约束条件和旅客个体移动能力、旅客间冲突等诸多不确定因素影响,在航班过站时间上占据最大的比重。登机效率的提升对大型枢纽机场提高资源利用率和减少延误具有重要作用。

登机效率下降不仅降低了机场运营效率,影响了旅客出行感受,同时增加了航空公司的运营成本。因为登机效率下降产生的成本是巨大的,据Funk在2003年进行的研究,登机成本为22.38美元/min^[4],到了2008年,David等对美国主要航空公司进行调查,得出登机成本为30美元/min^[5]。按照日航班量

1 500架次,每年365天,客座率100%计算,采用非传统登机策略比传统登机策略登机可以减少35%的成本^[5]。因此,采用适当的登机策略减少登机时间,对于航空公司节约成本具有非常重要的意义。

登机时间对登机效率提升具有重要作用,因此有必要深入研究登机策略以缩短登机时间,进而增加航空公司收益并减少航班延误。本文首先对登机过程中的影响因素进行分析,然后对现有登机策略进行比较,对新登机策略进行分析,进而提出现有研究的不足和未来研究的方向。

一、登机过程影响因素分析

登机效率的提升有赖于缩短登机时间。若希望以更短的时间完成登机过程,首先需要了解登机过程中的影响因素,并对某些重要因素进行分析。旅客登机过程经过的主要区域依次为预登机区、登机口、廊桥、登机舱门和机舱。

收稿日期:2015-07-08

基金项目:国家自然科学基金项目(U1433111)

作者简介:任新惠(1971-),女,陕西西安人,副教授。

从登机过程来看,旅客听到登机通知后向对应的登机口聚集,很容易造成登机口附近区域的拥挤,因此,在登机口附近设置预登机区,对旅客数量进行控制,使旅客更快地进入登机口缩短登机时间;另外,多个登机口也可加快登机速度。不仅如此,登机口的放行速度^[6,8]与旅客进入机舱到入座的速度相协调可以避免放行速度过快导致旅客在廊桥中的拥堵或因放行速度过慢导致的登机效率下降,从而减少登机时间。由于廊桥空间小,无法在廊桥中组织旅客,因此机场会在登机口处要求旅客以某种顺序排队并通过。旅客经过登机口进入廊桥后,由于旅客存在个体差异,步行速度不同,旅客的排列顺序改变,影响了登机时间。现有大多数的登机策略研究没有考虑这里提到的在廊桥中旅客排列顺序有所改变的情况,而更多的是直接对旅客进入机舱后的过程进行研究。

旅客通过廊桥后会达到机舱门口,而登机舱门的开放数量^[8]、登机舱门的指派^[9]对于登机时间也有很大影响,尤其是 A380 等宽体客机,搭载旅客数量较多,影响更加明显。

旅客进入机舱后到入座的过程是影响登机效率的重要环节。旅客进入机舱的速度对登机时间的影响也很大^[6,10],合理的速度可以充分利用过道的空间,减少登机时间。旅客进入机舱的顺序是对登机时间产生影响最大的因素,顺序不同,旅客就坐过程中被其他旅客阻挡的程度(即干扰)就不同,现有的大部分研究侧重于旅客进入机舱顺序对登机时间影响^[6-8,10-27]。在很多研究中,用干扰来研究登机时间,干扰分为座位干扰和过道干扰两种^[21]。干扰最少,登机时间则最短。干扰受很多因素的影响,旅客进入机舱的顺序、旅客携带行李的数量^[21]等影响干扰数量,旅客摆放单件行李花费的时间、旅客在机舱中的行进速度等行为特征^[12-15]影响单个干扰时间。

除此之外,也有学者从机舱设计的角度研究登机策略,探索飞机内部设计参数对登机过程的影响。Jorg^[23]对于机舱设计进行研究,对于 120 座的飞机,飞机座位设计对于登机时间有一定影响^[24],在 4 种布局中,发现每排 6 座双通道的设计登机时间较短,但是这需要更大的宽度,可能影响飞机的空气动力性能。Bachmat^[25]也发现登机策略的有效性和飞机内部设计参数之间存在明显联系。另外,不同机型的登机具有不同特点,2013 年, Mas^[13]通过建立仿真模型比较不同的登机策略。他对中小型客机(A320)、中型客机(B757-200)和大中型客机(Tu-214)进行从前向后、从后向前以及随机 3 种模

式进行仿真,计算登机时间。随后, Mas 等^[13]又针对 3 种不同大小的飞机,分别对从前向后、从外向内、从后向前、随机登机方式进行了研究。

登机过程中,旅客的行为特征也会影响登机时间。如 Tang^[12]基于对旅客行为特征的考虑提出了登机模型,并将其与随机登机方式、根据旅客座位系列号的登机方式进行对比分析。2012 年,该学者又在考虑旅客行为特征的基础上提出了新的登机策略^[15],对 3 种不同登机策略下旅客的行为特征进行研究。在现实的登机过程中,每一个航班的客座率都有所不同,旅客迟到、不遵循分组登机指令这样一些情况也时有发生^[26],这些也是影响登机时间的因素。

二、现有主要登机策略中旅客登机次序的比较

从 2001 年起,登机问题开始引起学术界关注^[20],虽然由于实际操作等原因,并不是每种登机策略都被实际运用,但是通过仿真模拟证明不同的登机策略具有不同特点。航空公司采取不同的登机方式,如美国航空主要采用传统的分组登机方式,美国西北航空公司采用随机登机方式等等^[5]。现行的登机次序主要包括无序登机和有序登机两种,无序登机包括随机登机(Random)和开放式登机(Open),有序登机包括按座位登机和分组登机(从后向前、从前向后、轮换分组、从外向内、半分组、倒金字塔形、安排分组、按半排分组)。

现有研究大多侧重于主要登机策略,通过建模仿真,得出登机时间。2003 年有学者提出干扰是计算登机时间的重要概念,并被广泛运用。干扰主要分为座位干扰和过道干扰。登机时间常被近似表示为座位干扰时间(座位干扰时间为座位干扰数与单位座位干扰时间之积)与过道干扰时间(过道干扰时间为过道干扰数与单位过道干扰时间之积)之和。从以上计算登机时间的方式可以看出,座位干扰数、过道干扰数以及二者对应的单位干扰时间是决定登机时间的关键因素。而在很多的研究中^[6-7,11,14,17,19,26],单位座位干扰时间和单位过道干扰时间都是参考 Van^[20]对布鲁塞尔机场登机流程的实地录像进行研究得出的参数值,是一组常数。因此想计算出某种登机次序对应的登机时间,就需要计算出这种登机次序各种干扰的个数,从而得出登机时间。现有的多数研究都是从干扰数的角度间接计算登机时间的^[6-8,11,14,17,21,28-30]。

第一,随机登机。由于随机登机方式在组织旅客登机方面具有便捷性,因此中小型客机的登机常采取这一方式^[5]。对于 B737 或 A320,随机登机方式略好于分组登机方式^[10,30-32],但是总登机时间比倒金字塔形和从外向内长。其时间短于分组登机等有组织的登机方式,原因是旅客就坐位置分散,过道的使用率较高。对于随机登机和开放式登机,都几乎不需要组织旅客,这样也导致陪伴出行的旅客在相邻的位置排队并进入机舱。但是,随机登机的时间与从外向内和倒金字塔形等方式的登机时间相比仍有差距。而且,对于 A380 等大型飞机,这两种登机方式花费的时间就会高于分组登机方式^[8]。因此,对于 A380 等宽体客机,这两种方式并不是一个很好的选择。

第二,分组登机。分组登机是较为常用的登机方式。对于 B737 等中小机型,从后向前的分组情况对登机时间有一定的影响^[10,26,28,32,33],减少了过道干扰。分组登机有很多种分组方式,可以将机舱内位置连续或间隔分组;将机舱内位置以过道分隔为两个部分,进而分组,以连续或者间隔组登机;将机舱内位置按排分组,按连续或者间隔排登机等等。对于以上登机方式,其组数以及间隔数对于登机时间都有一定影响,另外旅客的放行速度对于总登机时间也有很大影响^[6-7],合理的旅客放行速度可以有效减少登机时间。总体来讲,过道利用率越高总登机时间越短。

第三,从外向内登机。从外向内策略是从窗口位置向过道位置登机的一种方式。这种登机方式很大程度上避免了座位干扰,在登机时间上优于从后向前和分组登机^[8,14,20,27-28]。但由于提供给每个旅客摆放行李的空间不足,从外向内方式存在比较多的过道干扰。同时,对于同一排座位相邻的陪同旅客不能在相邻位置登机。综合考虑实际组织旅客的过程以及登机效率,从外向内组织旅客相对比较容易,登机时间较短,具有一定优势。

由于不同模型的假设条件不同,因此不同文献中登机时间有一定差别,但是各种登机方式都具有显著的特点。另外,上述登机方式多数是针对单通道客机的研究,对于宽体客机的研究较少^[8,13,23],宽体客机登机门个数以及不同登机策略的运用对登机时间都有很大的影响^[8]。另外,客舱内部结构设计也能影响登机时间^[23]。使用一个或两个登机门时,从外向内要优于随机登机和其他分组登机方式。

不仅机型对比较结果有影响,在不同的客座率情况下,登机次序对于登机时间的影响也有所不

同^[13,22,26]。随着客座率逐渐降低,各种登机次序所花费的登机时间差异也越来越小,尤其是小于 40% 时,不同登机次序花费的登机时间差异就更加不明显^[26]。更为倾向随机登机方式,因为随机登机不需要特别组织旅客,节约成本,也方便实施。

除此之外,迟到旅客的比例^[26]、旅客对于登机策略的服从程度以及陪同旅客的比例^[19]等也对各种旅客登机次序花费的登机时间有很大影响。当迟到的旅客比例越来越高时,各种登机次序所需的登机时间逐渐趋于随机登机需要的登机时间^[26],因为迟到旅客的比例越高,原有的登机次序被打乱的程度就越高,登机次序越趋于随机,因此登机时间也趋于随机登机的时间。同理,当旅客对于登机策略的服从程度下降时,即更多的旅客不按照事先排好的顺序登机时,各种登机次序的登机时间都会趋近于随机登机时间。对于陪同旅客,每一组陪同旅客的人数越多,登机时间则越长;而且人数 2~4 人的陪同旅客比人数为 3 的陪同旅客更容易引发座位干扰,因为 B737 等中小型客机都是以 3 个座位为一组。

以上对登机策略的研究中,虽然假设条件不同,建模方式或者仿真方法有所差异,得出的各登机次序的登机时间也有区别,但是从外向内和将于下文论述的倒金字塔形是被各学者经常推荐的登机方式^[19,32],因为这两种登机方式的登机时间具有一定优势,而且在实施中可行性较强。

三、新登机策略的提出

为了追求更短的登机时间,除了对已有登机策略进行比较,也有学者通过建模或仿真等方式提出新的登机策略。前文中提到的,登机时间被近似看作座位干扰时间和过道干扰时间的总和,因此得出最小的干扰数,求出最短的登机时间,就可以得出这一时间对应的新的登机策略。

在运筹学模型中,我们可以将登机时间或者干扰数设置为目标函数,通过一系列限制条件得出最优解,计算出最短登机时间,得出新登机策略。2003 年 9 月,美国西部航空公司亚利桑那州立大学研究人员对高效的登机策略进行研究^[14]。研究人员综合从后向前策略以及从外向内登机模式,提出新的登机模式,称之为倒金字塔形模式。倒金字塔形是从后向前和从外向内两种登机方式的结合,在 2003 年被美国西部航空公司使用^[15]。其登机时间优于从后向前和从外向内,这种登机方式吸取了从后向

前过道干扰较少和从外向内座位干扰较少的优点,但是在组织旅客方面比较复杂,实际施行的过程中可能遇到一定的困难。Menkes^[14]等人运用混合整数非线性规划(MINLP)建模对倒金字塔形方式进行研究,运用仿真进行验证,同时真人模拟对实验结果进行校验。2006 年,Bazargan^[6]采用线性规划的方式对 A320 的登机策略进行研究,并与 Menkes 提出的非线性模型进行比较。他以登机时间为目标函数,用线性规划模型计算出结果后,运用仿真验证,最后分别给出了开放一个和两个登机门时的最优登机策略。2011 年,Soolaki 等学者^[7]用混合整数线性规划的方法对 Bazargan^[6]给出的最优登机策略进行研究,采用遗传算法求解,发现遗传算法在解决这一类问题上的有效性。王康等通过遗传算法求解混合整数非线性规划,对登机时间进行最小化的计算。通过仿真,对几个策略进行模拟,分析其中的差异。

2008 年 Steffen^[16]使用马尔科夫链-蒙特卡洛最优化算法和计算机仿真的方式提出了一种登机策略。他对两个相邻登机旅客的座位间隔进行了研究,发现间隔两排是可以同时摆放行李的旅客数量最多的间隔。这种方式具有时间上的优势,其劣势是登机顺序较为复杂,容易坐错座位。后来,基于旅客携带行李数量的考虑,John^[11]在 Steffen 提出的登机方式的基础上根据旅客随身携带行李数量安排座位,并进行仿真验证,结果登机时间比单纯用 Steffen 登机方法的时间短。后来,Steffen 又组织真人进行模拟登机^[16]。试验中 72 名不同年龄的乘客按照 Steffen 登机方式^[17],进入 B757 的模拟舱并落座。模拟结果验证了其提出的登机方式确实能有效减少登机时间,但真人仿真的登机时间比理论模型计算出的时间长,Steffen 给出的原因是这可能和旅客在机舱中的行进时间有关。基于行李数量提出新的策略,在文献中也有涉及,在从外向内基础上考虑旅客携带行李件数来安排旅客座位。

一些新登机策略是组合几种基本登机策略,从而融合了多种策略的优势。刘山等^[27]提出了双栈并行缓冲模型,它是从后向前和从外向内的结合,有效减少座位干扰时间,从而减少登机时间。张宇翔等^[34]也通过对模型的分析 and 仿真,提出了一种新的登机策略,将从后向前和从外向内相结合、并与倒金字塔形登机策略组合,有效地缩短了登机时间。

在宽体客机登机策略的研究中,韩复华建立双元整数规划模型对 B747-400 和 A320 两种机型进行研究分析,以总干扰数为目标函数,求得最小的干扰

数,以计算最短登机时间,最后验证这一模型的正确性。对于广体机 B747-400,非对称性倒金字塔形是最佳登机策略。

四、讨论与展望

目前国内外对登机的研究不多,研究对象主要是 A320 和 B737 等中小机型,对于大型宽体客机的研究更少。此外,在诸多研究中涉及旅客特征的一些参数值,也多是从 Van^[20]的研究中来,随着时间的推移,这一参数值与实际值之间的区别会越来越大,因此会影响登机时间。而且现有研究多数是对登机总时间的研究,但旅客个人登机时间是更能反映旅客满意度的指标。除此之外,对优先登机、陪同旅客、旅客迟到以及坐错座位等特殊情况的研究较少。因此,建模和仿真得出的结果可能同现实中的登机时间存在较大的差别。

通过分析,笔者总结了实际登机过程中的影响因素见表 1 所示。但现有登机研究只考虑一部分影响因素,今后应全面考虑影响因素,增加登机时间计算的准确性。

现有的登机策略研究主要集中在旅客进入机舱门后的过程,但登机过程是从旅客在候机楼听到登机通知开始,直到该航班最后一名旅客就坐。因此,旅客从航站楼到机舱门口的过程也应该进行必要的研究,而且应该考虑过程的整体性,使登机口和机舱口的放行速度相协调,以免发生拥堵或者廊桥内空间使用率下降的情况。

近年来,宽体客机应用不断增加,单机搭载旅客数量不断提升,但是对于宽体客机的登机研究尚少^[8,13]。宽体客机使用的登机门数量较多且机舱内有两个通道,而且对于 A380 等大型宽体机来说,其全双层宽体机舱的设计使其登机过程与单通道客机有很大不同。在宽体客机登机策略的研究方面,应更多关注合理使用登机门、控制旅客进入机舱的速度以及采用合理的旅客登机序列等方面。

研究者还应更多考虑旅客登机特征在登机过程中的影响因素。另外,在以后的研究中也应该考虑陪同旅客的情况,这样可以更为准确的描述登机时间。

现有研究中登机策略仿真模型中参数的确定多数是参考 Van 给出的结果^[20],但是这一结果距今已有十余年的时间,存在一定的不准确性,而且这一数据与中国的情况可能也存在一定差异,因此,对重要

参数进行重新测定也可以进一步使计算出的登机时间接近实际登机时间。

表 1 旅客登机过程影响因素

登机过程		影响因素
旅客位置	预登机区	是否使用预登机区;预登机区大小、形状等;预登机区可容纳旅客数量范围;旅客在预登机区中的步行速度;在预登机区的行进过程中旅客插队或超过前方旅客;行进速度明显较慢的旅客
	登机口	登机口的开放数量;登机口的放行速度
	廊桥	廊桥长度及宽度;廊桥中允许并行旅客的列数;廊桥中旅客的行进速度;在廊桥行进的过程中超过前方旅客;行进速度明显较慢的旅客
	机舱门	机舱门的使用个数;各个机舱门给机舱内哪些区域的旅客使用;机舱门口的旅客放行速度
	机舱内	旅客行进速度、携带行李数量
航班特征		客座率
飞机设计特征		机型;飞机可搭载旅客数量;飞机各舱别座位分布情况;机舱内部座位的列数以及排数;前后两排距离;过道宽度
登机方式		旅客进入机舱的顺序
旅客特征		旅客从过道到座位的时间;旅客从座位到过道的的时间;旅客在机舱中的行进速度;机舱内行进过程中超过前方旅客;行进过程中速度明显较慢的旅客;陪伴出行的旅客
行李特征		行李件数的分布情况;行李摆放位置(行李架或者前方座位);对于不同的行李摆放位置,摆放单件行李所需要的时间
优先登机		头等舱或商务舱;特殊旅客

五、结语

在登机过程中,本文主要分析 3 个主要问题:一是影响登机时间的因素,这里涉及的因素繁多,本文总结并分析了这些因素,可以看出目前的研究中涉及到的因素还是有限的,这也为未来研究提出可行的方向;二是对现有登机策略进行对比分析,目前研究多数采用仿真的方法模拟多种登机策略,比较其登机时间,本文进一步探讨了每一种策略的特点以及优劣;三是登机新策略的提出。在现有研究中也运用一些运筹学模型,提出新策略并进行仿真验证,或者是真人实验验证。通过以上系统的梳理与评述,分析了当前研究的局限性,并给出了未来登机问题研究的方向。

参考文献:

[1] Mouawad J. Worse than security lines? Airlines try new boarding schemes[N]. China Daily,2011-11-13(10).

[2] Marelli S, Mattocks G, Merry R. The role of computer simulation in reducing airplane turn time [EB/OL]. (2014-12-10) [2015-07-20]. http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_01/textonly/t01txt.html.

[3] 佚名. 如何让旅客更快的登机[J]. 中国民用航空采购,2011(2):12-15.

[4] Funk M. The visualization of the quantification of the commodification of air travel[J]. Popular Science,2003, 63(5):66-73.

[5] David C N, Kathleen L M. A study of the airline boarding problem[J]. Journal of Air Transport Management,2008 (14):197-204.

[6] Bazargan M. A linear programming approach for aircraft boarding strategy [J]. European Journal of Operational Research,2007,183(5):394-411.

[7] Soolaki M, Mahdavi I, Mahdavi A N, et al. A new linear programming approach and genetic algorithm for solving airline boarding problem[J]. Applied Mathematical Modeling,2012,36(9):4060-4072.

[8] Massoud B, Stefan S, Li Y. Airbus-380 aircraft boarding strategies: a simulation study [EB/OL]. (2015-03-10) [2015-07-20]. <http://www.agifors.org/document.go?documentId=1737&action=download>.

[9] Anonymity. A practical approach to boarding/deboarding on A380 [EB/OL]. (2007-02-12) [2015-07-20]. http://www.math.washington.edu/~morrow/mcm/alex_evan_harkirat.pdf.

[10] Van L H. A simulation study of passenger boarding times in airplanes [EB/OL]. (2015-02-28) [2015-07-20]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.19.2106&rep=rep1&type=pdf>.

[11] John M, Alexander R K. A new method for boarding passengers onto an airplane[J]. Journal of Air Transport Management,2014,34(1):93-100.

[12] Tang T Q, Huang H J, Shang H Y. A new pedestrian-following model for aircraft boarding and numerical tests [J]. Nonlinear Dynamics,2012,67(1):437-443.

[13] Mas S, Juan A A, Arias P, et al. A simulation study regarding different aircraft boarding strategy [J]. Business Information,2013(145):145-152.

[14] Menkes H L, Rene V, Gary L H. America West Airlines develops efficient boarding strategies [J]. Interfaces, 2005,35(3):191-201.

[15] Tang T Q, Wu Y H, Huang H J, et al. An aircraft boarding model accounting for passengers' individual properties [J]. Transportation Research Part C,2012(22):1-16.

[16] Steffen J H, Hotchkiss J. Experimental test of airplane boarding methods[J]. Journal of Air Transport Management,2012,18(1):64-67.

[17] Jason H S. Optimal boarding method for airline passengers[J]. Journal of Air Transport Management,2008,14

- (3):146-150.
- [18] Bachmat E, Berend D, Sapir L, et al. Optimal boarding policies for thin passengers [J]. *Advances in Applied Probability*, 2007, 39(4):1098-1114.
- [19] Bi Q, He Tao, Liang X G. Problems with queuing arrangement when boarding [EB/OL]. (2013-03-12) [2015-07-20]. http://www.paper.edu.cn/en_releasepaper/downloadpaper/200712-88.
- [20] Van L H, Beuselinck A. Reducing passenger boarding time in airplanes: simulation based approach [J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 142(2):294-308.
- [21] Yuan B, Yin J F, Wang M F. STAR: (saving time, adding revenues) boarding /deboarding strategy [J]. *The UMAP Journal*, 2007, 28(3):333-352.
- [22] Pol A, Angel A J, Silvia M. Using simulation to compare aircraft boarding strategies [J]. *Simulation in Production and Logistic*, 2013(5):237-246.
- [23] Jorg F, Niclas D, Bjorn N, et al. Cabin design for minimum boarding time [J]. *European Journal of Operational Research*, 2009(124):234-241.
- [24] Chung C A. Simulation design approach for the selection of alternative commercial passenger aircraft seating configurations [J]. *Journal of Aviation Technology & Engineering*, 2012, 2(1):100-104.
- [25] Bachmat E, Berend D, Sapir L, et al. Analysis of airplane boarding times [J]. *Operations Research*, 2009, 57(2):499-513.
- [26] Pieric F, Kai N. Robustness of efficient passenger boarding strategies for airplanes [J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2005, 1915(1):44-54.
- [27] 刘山, 李天顺, 于立庚, 等. 关于登机时间优化的新模式 [J]. *中国民航大学学报*, 2008, 26(2):50-52.
- [28] 尚华艳, 陆化普, 彭愚. 基于元胞自动机的乘客登机策略 [J]. *清华大学学报: 自然科学版*, 2010, 50(9):1330-1333.
- [29] 刘洋, 刘振兆, 贾利民. 一种高效的登机策略 [J]. *交通运输系统工程与信息*, 2008, 8(5):118-123.
- [30] Baek Y, Ha M, Jeong H. Impact of sequential disorder on the scaling behavior of airplane boarding time [J]. *Physical Review E*, 2013, 87(5):052803/1-052803/6.
- [31] Bachmat E, Elkin M. Bounds on the performance of back-to-front airplane boarding policies [J]. *Operations Research Letters*, 2008, 36(5):597-601.
- [32] 任新惠, 唐少勇. 单通道客机旅客登机策略比较研究 [J]. *交通工程系统工程与信息*, 2014, 14(4):173-179.
- [33] 柯源. 飞机登机策略分析 I: 离散时间模拟模型 [J]. *数学的实践与认识*, 2007, 37(18):85-94.
- [34] 张宇翔, 肖春景. 登机过程的建模与仿真优化 [J]. *计算机仿真*, 2009, 26(9):243-246, 312.

Overview of researches on passengers aircraft boarding

REN Xin-hui, ZHANG Si-yu

(School of Economics and Management, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: In order to explore appropriate boarding strategies, promote the efficiency of passengers boarding, improve the utilization ratio of the airport facility and lower the cost of flight operation, the factors which have impacts on the passengers boarding process were summarized with the order of areas that passengers passing by when they were boarding, and this paper carried on comparative analysis of boarding strategies presented in the existing research literature. The results show that factors such as the behavior of the check-in staff, way of boarding, passengers behavioral characteristics, cabin design, especially the arrange order of passengers in lounge bridges will affect the efficiency of boarding and boarding time; boarding from outside to inside or inverted pyramid approach has advantages; new boarding strategies should be a combination of a few basic boarding strategies. At the same time, existing researches on boarding strategy mainly focus on the strategies after entering the passenger cabin door, but it should be extended to the process when informing the boarding; more attention should be paid to the aircraft; important parameters should be measure again in simulation studies, etc.

Key words: air transportation; boarding strategy; boarding order; aviation passenger; boarding process