

# 市场培养期内机场长途巴士时刻表动态优化<sup>①</sup>

陆 婧, 杨忠振\*, 王文娣

(大连海事大学交通运输管理学院, 大连 116026)

**摘要:** 为应对日益激烈的竞争,一部分民航机场增加长途巴士服务以强化竞争力,长途巴士开行后机场市场份额逐渐上升的过程通常叫做市场培育期,缩短培育期是强化长途巴士效率与效果的关键。文章站在运营者的角度,以培育期最短、机场市场份额增幅最大、运营成本最低为多重目标,动态优化培育期内机场长途巴士的时刻表,得到培育期内各时点的巴士发车时刻表与机场市场份额的增长曲线。优化模型刻画了乘客机场选择习惯的变化与发车时刻表之间的互动关系,以及前后时间点上机场市场份额的动态联系。计算结果显示,动态时刻表可缩短机场长途巴士的市场培育期,迅速增加机场的市场份额。

**关键词:** 机场长途巴士; 时刻表优化; 动态优化; 行为模拟; 市场培育期

**中图分类号:** U8, F562.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-9807(2016)12-0014-11

## 0 引 言

随着民航业的快速发展,中国机场数量不断增加,机场间竞争日趋激烈<sup>[1]</sup>。为吸引更多的腹地客源,各机场纷纷推出新的服务来增强自身的竞争力,例如开设“机场长途巴士”、建设“城市候机楼”等<sup>[2]</sup>。由于“机场长途巴士”(以下简称“巴士”)可为处于机场所在城市以外的乘客提供便捷的集疏运服务,开通巴士机场的可达性大幅度提高<sup>[3]</sup>。乘客会在巴士开通后重新判断各备选机场的效用再进行机场选择<sup>[4]</sup>。由于乘客是有限理性决策者,他们会依据认知的客观事实进行决策<sup>[5]</sup>,因此在选择机场时首先将各备选机场的客观效用转化为主观效用,再依据主观效用进行选择,客观效用到主观效用的转化受乘客机场选择习惯的影响<sup>[6]</sup>。机场选择习惯是乘客在长期的航空出行中形成的一种选择惯性。当外界环境不变时,选择习惯将引导乘客持续选择同一机场<sup>[7]</sup>。但是,当有更优质的备选机场时,选择可能发生变

化<sup>[8]</sup>,进而引起乘客对机场客观效用认知的变化。由于选择习惯的改变需要较长时间<sup>[9]</sup>,所以乘客将会逐渐改变其对机场的选择。

乘客机场选择的变化打破了原有的市场平衡,各机场的市场份额会逐渐变化<sup>[10]</sup>,提供巴士服务的机场的份额会在平衡被打破后逐渐上升,并在下一个平衡状态形成时回归平稳<sup>[11]</sup>。新旧两次平衡间的时间段就是新服务的市场培育期,由于培育期的长短决定着机场占领市场的速度,培育期内机场市场份额的增长幅度又决定着巴士的效率与效益<sup>[12]</sup>,因此如何设置新服务的属性以尽可能地扩大市场份额增幅及缩短培育期是值得研究的问题。

影响巴士培育期长短和市场份额增幅的主要因素是乘客机场选择习惯变化的速度和幅度<sup>[13]</sup>,可以通过调整机场客观效用进而改变乘客机场选择习惯的方法来加速和扩大市场份额的增长。因为巴士提供的是出发地到机场间的空间与时间上的衔接,当巴士线路固定时发车时刻是影响其效

① 收稿日期: 2014-11-04; 修订日期: 2015-05-25。

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(71431001); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(3132016303)。

通信作者: 杨忠振(1964—),男,辽宁凌海人,博士,教授。yangzz@dlnu.edu.cn

用的最主要因素<sup>[14]</sup>。因此,优化培育期内巴士的发车时刻,合理设计巴士时刻表是缩短培育期、提高市场份额增幅的有效措施。

由于乘客的机场选择习惯是在多次出行过程中逐渐变化,前次与后次出行中的习惯相互关联<sup>[15]</sup>,因此机场在培育期内各时点的市场份额均不同,前一时点的市场份额影响后一时点的市场份额<sup>[16]</sup>。为控制整个培育期内市场份额增长的速度和幅度,培育期内各时点的时刻表不仅要满足当时的乘客需求,还要能诱使乘客改变机场选择习惯,进而影响下一时点的乘客需求。因此,需针对整个培育期的不同时间设计不同的巴士时刻表,以加快培育期内机场市场份额的变化。

目前,有关机场巴士时刻表设计的研究较少,大多数文献集中在研究公交和轨道交通的时刻表设计上。其中,一些文献考虑了需求方面的不确定性对时刻表设计的影响,如孙杨等<sup>[17]</sup>假设乘客随机到达,鲁棒优化公交时刻表,并将优化结果与固定需求下的时刻表进行比较,发现鲁棒优化的时刻表具有更强的抗干扰能力,更符合乘客的需求。Li 等<sup>[18]</sup>在设计火车时刻表时将线路中各站点上下旅客数设为模糊值,既使时刻表符合乘客需求,又降低了运营成本。另一些文献考虑了供给的不确定性对时刻表设计的影响,例如吉婉欣等<sup>[19]</sup>考虑准时率对时刻表设计的影响,认为公交运行的可靠性是决定发车频率的重要因素。Sun 等<sup>[20]</sup>考虑地铁运行时间不确定性,针对高峰期和非高峰期的不同客流设计时刻表,以引导高峰期乘客向非高峰期转移,减少拥堵并提高乘客的满意度。

以上研究主要是基于短期内(如:1天)乘客的需求设计巴士/火车的时刻表,设计方法适用于乘客需求较为稳定的情况,要求1天内的需求可代表长期性的总体需求。但是,市场培育期中乘客需求的变化幅度较大,因此有必要考虑乘客需求的长期变化来动态设计时刻表。乘客需求的长期变化与乘客机场选择行为和选择习惯的转变相关。在有关乘客机场选择的研究中,Skinner<sup>[21]</sup>研究了地面集疏运系统和航班频率对机场选择的影响,指出地面集疏运是影响乘客机场选择的最重要因素;赵凤彩和吴彦丽<sup>[22]</sup>研究了多机场区域内机场吞吐量的分布,指出航班频率和机票价格是影响机场吞吐量的主要因素。这些研究大都假设

乘客完全理性,不考虑乘客的出行经历与经验积累,且主要关注乘客在1次航空出行中的机场选择行为。实际上,出行经历会影响乘客的机场选择行为,并引导乘客持续选择同一机场<sup>[23]</sup>,且随着经验的累积他们在多次航空出行后会形成选择习惯<sup>[24]</sup>。有选择习惯的乘客在选择机场时更易于依赖主观经验,其对客观认知在一定程度上会偏离实际。

外界环境的变化也会引起选择习惯的转变<sup>[25]</sup>,这部分已有研究主要集中在分析影响选择习惯转变的因素上。例如,Webb 等<sup>[26]</sup>通过分析出行方式选择习惯的转变发现原习惯强度将影响出行者习惯变化的速度。Jager<sup>[27]</sup>等基于对品牌选择习惯转变的分析指出新的替代品可提供的效用将决定购买者品牌选择习惯变化的幅度和速度。本文在这些研究的基础上着重研究如何加速和加大乘客选择习惯转变的方法。为此,基于时刻表、机场选择习惯和机场市场份额之间的相互关系,以巴士开通后市场培育期最短、市场份额增长幅度最大和巴士运营成本最低为多重目标,针对有机场选择习惯的乘客模拟其机场选择习惯的转变过程,并基于模拟结果进行时刻表的动态优化。

## 1 问题描述

假设城市 C 周边有 A、B 两座国际机场,它们到 C 市的距离相同,目前 A 机场在 C 市的市场份额较大,B 机场为提高市场份额开通直达 C 市的机场巴士,A 机场未开通机场长途巴士。为动态优化培育期内的巴士时刻表,需明确巴士时刻表、乘客机场选择习惯和机场市场份额之间的关系。如图 1 所示,在第 0 天 B 机场开通机场巴士时,A 机场在 C 市的市场份额大于 B 机场,箭头①表示巴士服务(表现为发车时刻表)改变了 B 机场的效用,影响了有选择习惯的乘客在第 0 天出行时的机场选择。巴士服务决定着乘客乘坐巴士前往机场的出发时间和到达机场后的候机时长,因此时刻表决定了 B 机场客观效用的变化,具体为巴士发车越密集,乘客的选择越多,候机时长越短,乘坐巴士的客观效用越大。但是,该客观效用并不直接影响乘客的机场选择,而是转变为乘客的感知

效用后才起作用。

感知效用是乘客对客观效用的认知结果,在认知过程中受习惯的影响,客观效用反映到主观上会有所折减,这种折减来源于有选择习惯的乘客易于放大新服务风险的事实。巴士的服务风险来自多方面,例如:行驶安全风险、走行时间不确定、服务质量不稳定等。由于航空出行乘客最重视时间成本,因此巴士走行时间的不确定性被认为

是新服务风险中最重要的要素。有选择 A 机场习惯的乘客认知的 B 机场开通的巴士的走行时间往往大于其客观值,因此感知到的 B 机场的巴士服务的效用会小于客观实际。由于感知效用与客观实际之间的差值与乘客的选择习惯强度有关,因此乘客选择 A 机场的习惯强度越大,其感知到的 B 机场的巴士的效用越小,选择 B 机场的概率也越小。

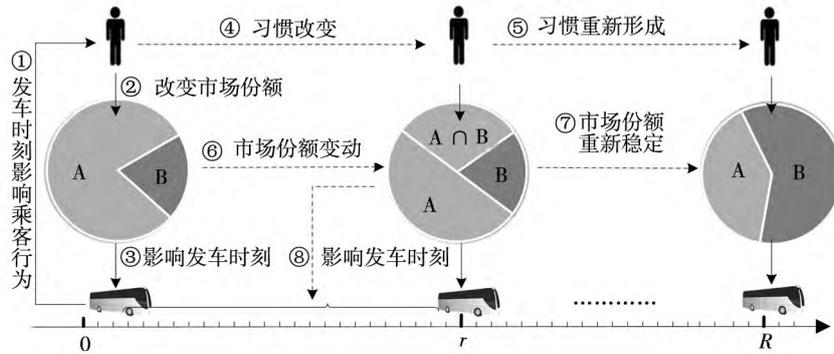


图1 巴士时刻表、乘客机场选择习惯和机场市场份额间关系

Fig. 1 Interaction between timetable, airport choice habit and market share

②表示在巴士的影响下,区域内乘客完成第 0 天出行后,所有乘客的机场选择结果形成了当天 B 机场在 C 市的市场份额。箭头③表示第 0 天 B 机场在 C 市的市场份额对机场巴士当天产出的影响。B 机场在 C 市的市场份额决定着巴士的满载率,影响巴士的效益,因此制定第 0 天的时刻表时,需要预测当天 B 机场的市场份额。

由上述分析可知,时刻表、机场选择习惯和市场份额在某一时刻上的关系为:时刻表决定着巴士的客观效用,选择习惯决定着乘客的感知效用,机场选择结果形成各机场的市场份额,而市场份额是设计当天机场巴士时刻表的依据。

开通机场巴士后,时刻表、机场选择习惯和市场份额在培育期(0 天 ~ R 天)内相互影响,达到平衡的过程如图 1 中的虚线箭头所示。其中,箭头④和箭头⑤表示乘客的前次选择结果会影响后续选择,乘客在多次航空出行中逐渐形成新的选择习惯。具体过程为,当乘客完成第 0 天的出行后,首先依据本次出行的实际效用和出行前感知的效用调整选择习惯,之后伴随习惯强度的衰减在下次(第 r 天)出行时形成新的选择习惯并在新习惯的影响下完成下一次出行时的机场选择。乘客在多次出行中逐渐改变选择习惯,各次出行时的

机场选择行为随着习惯的改变而改变。

箭头⑥和箭头⑦表示随乘客选择习惯的变化,B 机场在 C 市的市场份额逐渐变化直至培育期结束(第 R 天)时达到稳定状态的过程。区域内乘客各次的选择结果形成了当天 B 机场在 C 市的市场份额。随着乘客选择习惯的改变,B 机场的市场份额逐渐变化。当 C 市乘客选择习惯的变化趋于平稳时,B 机场的市场份额不再变化,B 机场完成了在 C 市的市场培育。箭头⑧表示第 r 天 B 机场的市场份额不仅影响当天巴士时刻表的设计,同时影响第 r 天之前每天的时刻表设计。由于第 r 天 B 机场的市场份额是之前乘客选择习惯变化的累计结果,因此第 r 天的市场份额即与当天的时刻表有关,又受之前各时刻表的影响。所以说,为设计培育期内每天的时刻表,不仅要预测当天的市场份额还需预测未来的市场份额的变化。

由巴士时刻表、选择习惯和市场份额之间在同时点上和在整个培育期内的互动关系,可得到培育期内机场市场份额随着乘客选择习惯变化而变化的过程,而基于动态时刻表的巴士服务可改变乘客选择习惯变化的速度与幅度,进而影响培育期的长短和机场市场份额的增幅。因此,为缩短培育期、最大化市场份额的增幅、降低巴士运营

成本,需动态优化培育期内各时点上的巴士时刻表,为此建立数学模型时,需解决如下几个问题: 1) 模拟习惯影响下的乘客机场选择行为; 2) 明确培育期内不同时点上的机场市场份额之间的相互关系; 3) 明确时刻表与乘客机场选择之间的关系。

## 2 模型构建

以  $g$  天内机场巴士总运营成本  $C$  最低(式(1))、乘客人数  $N$  最多(式(2))和市场培养期  $T$  最短(式(3))为目标构建动态巴士时刻表优化模型。目标函数中相关变量解释如下:  $r$  表示日期;  $t$  表示备选发车时刻;  $x_{rt}$  为 0-1 变量,表示第  $r$  天的  $t$  时刻是否有巴士发出,有为 1,否则为 0;  $c$  为 1 辆机场长途巴士单次行走成本;  $v$  为折现系数。  $e$  表示乘客;  $n_{rte}$  为 0-1 变量,表示第  $r$  天的  $t$  时刻发出的机场巴士是否被乘客  $e$  选择,选择为 1,否则为 0;  $w$  是计算一段时期内客流标准差时设定的观测天数;  $u$  为依据经验设定的误差值

$$\min C = \sum_{r=1}^g \sum_t x_{rt} c (1-v)^r \quad (1)$$

$$\max N = \sum_{r=1}^g \sum_t \sum_e n_{rte} \quad (2)$$

$$\min R =$$

$$\left\{ r \sqrt{\frac{1}{w} \sum_t \left( \sum_l \sum_e n_{r+1,le} - \sum_l \sum_e n_{rte} \right)^2} \leq u \right\} \quad (3)$$

式中  $x_{rt}$  为模型的决策变量,可以基于  $n_{rte}$  优化得到;  $n_{rte}$  可通过模拟方法得到,具体模拟方法如下所示:

- 航空出行需求生成

$n_{rte}$  为 0-1 变量,如果乘客  $e$  在第  $r$  天乘机出行  $n_{rte} = 1$ ; 否则  $n_{rte} = 0$ 。

- 习惯强度计算

设定巴士开通前乘客  $e$  的初始习惯强度( $h_{re}$ ,  $r=1$ ),计算方法如式(4)所示

$$h_{re} = h = \frac{\sum_{q=1}^Q y_q}{Q}, r = 1 \quad (4)$$

式中  $y_q$  为习惯强度评价体系中第  $q$  项指标的值,  $Q$  为指标的数量。

- 巴士行走时间感知值分布设定

$T_{rie}$  为第  $r$  天乘客  $e$  感知的前往机场  $i$  的行走时间分布,拥有不同  $h_{re}$  的乘客所感知的  $T_{rie}$  不相同。具体方法如式(5)所示,

$$T_{rie}(t_{riej}, p_{riej}) = T_{ih}(t_{ihj}, p_{ihj}), h_{re} = h \quad (5)$$

式中  $t_{riej}$  为乘客  $e$  感知的第  $j$  种可能的前往机场  $i$  的所需时间;  $p_{riej}$  为对应的概率值。

- 机场与发出时刻联合决策

基于累积前景理论模拟乘客机场和出发时刻的联合决策过程,如式(6)~式(19)所示。在累积前景理论中,决策者依赖价值函数和主观概率权重函数计算各备选方案的前景值,并选择前景值最大的方案,其中价值函数有 3 个特征: 1) 决策者在面临收益时,依据风险规避原则决策; 2) 决策者在面临损失时,依据风险偏爱原则决策; 3) 决策者对损失比对收益敏感。依据前景理论,乘客选择机场  $i$  可能获得的前景值  $PS_{rie}$  的计算方法如式(6)所示

$$PS_{rie} = \sum_{j=1}^n V^+(x_{riej}) \pi_{riej}^+ + \sum_{j=-m}^0 V^-(x_{riej}) \pi_{riej}^- \quad (6)$$

式中等号右边的前半部分表示选择机场  $i$  可能获得的收益,后半部分表示可能获得的损失。

这里以收益的计算过程为例进行介绍。乘客可能获得的收益由价值函数  $V^+(x_{riej})$  和与其对应的累积概率权重函数  $\pi_{riej}^+$  相乘得到

$$V^+(x_{riej}) = x_{riej}^\alpha, x_{riej} \geq 0 \quad (7)$$

其中  $\alpha = 0.88$  [28];  $x_{riej}$  为感知费用  $c_{riej}$  与期望费用  $c_e$  的差值(式(8))

$$x_{riej} = c_{riej} - c_e \quad (8)$$

其中感知费用  $c_{riej}$  由 3 部分组成: 陆上在途费用、延误费用和额外候机费用(式(9))。陆上在途费用是指乘客从出发地到机场的陆上交通的时间成本; 延误费用是指乘客到达机场的时间晚于最晚允许办理登机手续时刻而产生的损失; 额外候机费用是指乘客到达机场过早而损失的时间成本

$$c_{riej} = \theta^T t_{riej} + \theta^W (T_{rie} - t_{riej}^D - t_{riej} - T) \times (1 - \eta) + \theta^L \eta \quad (9)$$

$$\eta = \begin{cases} 1 & T_{rie} - t_{riej}^D - t_{riej} < T \\ 0 & T_{rie} - t_{riej}^D - t_{riej} \geq T \end{cases} \quad (10)$$

式中  $\theta^T$ 、 $\theta^W$  和  $\theta^L$  为单位时间成本;  $t_{riej}^D$  表示乘客  $e$

第  $r$  天前往机场  $i$  的第  $j$  种可能的出发时刻 ,其决策过程如式( 11) 所示

$$t_{riej}^D = \max(t) ,$$

$$t \in \{ t \mid T_{rie} - tx_{rit} - t_{riej} \geq T$$

$$\&tx_{rit} \neq 0 \&n_{re} = 1 \}$$
( 11)

$c_e$ 是参考点 ,它表示乘客期望的费用 ,如式( 12) 所示

$$c_e = \theta^T T_e + \theta^W W_e$$
( 12)

式中  $T_e$ 为乘客  $e$  期望的前往机场的乘车时长 , $W_e$ 为期望的候机时长.

式( 13) 和式( 14) 为收益的概率权重函数

$$\pi_{riej}^+ = w^+ ( p_{riej} + \dots + p_{rien} ) -$$

$$w^+ ( p_{rie\ j+1} + \dots + p_{rien} ) ,$$
( 13)

$$0 \leq j \leq n - 1$$

$$w^+ ( p_{riej} ) = \frac{p_{riej}^\gamma}{( p_{riej}^\gamma + ( 1 - p_{riej} )^\gamma )^{1/\gamma}}$$
( 14)

依据 Tversky 和 Kahneman<sup>[29]</sup>的研究  $\gamma = 0.6$ .

乘客可能获得损失的计算原理与收益的计算原理相同 ,但价值函数  $V^- ( x_{riej} )$  和对应的概率权重函数  $w^- ( p_{riej} )$  不同 ,分别如式( 15) ~式( 17) 所示

$$V^- ( x_{riej} ) = - \lambda ( - x_{riej} )^\beta , \quad x_{riej} < 0$$
( 15)

$$\pi_{riej}^- = w^- ( p_{rie\ -m} + \dots + p_{riej} ) -$$

$$w^- ( p_{rie\ -m} + \dots + p_{rie\ j-1} ) ,$$
( 16)

$$- m \leq j < 0$$

$$w^- ( p_{riej} ) = \frac{p_{riej}^\delta}{( p_{riej}^\delta + ( 1 - p_{riej} )^\delta )^{1/\delta}}$$
( 17)

其中  $\beta = 0.88$  ,  $\lambda = 2.55$  ,  $\delta = 0.69$ <sup>[29]</sup>.

乘客  $e$  选择  $PS_{rie}$ 最大的机场出行 .如果机场  $i$  开通了机场巴士 ,乘客将从所有可能的出发时刻  $t_{riej}^D$  中选择乘机场巴士出发的时刻  $t_{re}^D$  ,决策方法如式( 18) 所示.

$$t_{re}^D = t , t \in \{ t_{riej}^D \mid \max( p_{riej} ) \}$$
( 18)

当乘客完成机场与出发时刻联合选择决策 ,即可得到  $n_{rie}$  ( 式( 19) )

$$n_{rie} = \begin{cases} 1 & t_{re}^D = tx_{ri} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$
( 19)

表示如果乘客  $e$  选择  $t$  时刻发出的巴士 ,其值为 1 ,否则为 0.

● 习惯强度更新与衰减模拟

为得到培育期内每天的机场市场份额 ,还需构建乘客前、后两次机场选择间的关系 .由于前后两次选择是依靠乘客的习惯强度衔接的 ,因此需要分析乘客习惯强度在多次机场选择过程中的变化 .为此 ,首先确定乘客完成 1 次出行后当天习惯强度的变化 ,提出式( 20) ;之后确定习惯强度在两次出行间的衰减规律 ,提出式( 21)

$$h_{re} = h \quad h \in \{ h \mid PS_{ih} = U_{rie} \}$$
( 20)

$$h_{r+l\ e} = h_{re} e^{-al}$$
( 21)

式( 21) 是基于心理学家艾宾浩斯发现遗忘规律而构建习惯强度的衰减规律<sup>[30]</sup> .其中 , $h_{r+l\ e}$  为距第  $r$  天出行  $l$  天后的习惯强度 , $a$  为待定系数.

### 4 算法设计

利用 Deb 等<sup>[31]</sup>提出的非支配排序遗传算法 ( NSGA-II) 求解模型 ,该方法在 NSGA 方法的基础上使用了新的非支配解排序方法、精英选择策略以及拥挤距离 ,可以计算得到 Pareto 最优前沿面上非凸区域上的解并大幅降低计算复杂度 .算法流程如下:

步骤 1 ( 初始化  $x_{ri}$ ) 设  $gen = 0$  ,初始化种群  $Pop_0 = \{ X_s^0 \mid s = 1\ 2\ \dots\ S \}$  ,  $S$  为种群中个体数量 , $X_s^0$  为初始种群中第  $s$  个时刻表设计方案 , $X = \{ x_{ri} \mid r = 1\ 2\ \dots\ g; 1 \leq t \leq 24 \}$  ;

步骤 2 ( 计算  $n_{rie}$ )

1) 生成乘客  $e = 1\ 2\ \dots\ E$ ; 并生成乘客  $e$  的出行日期  $n_{re}$ .

2) 设  $r = 1$  ,依据调查数据生成  $e$  的初始习惯强度  $h_{re}$  以及感知的时间分布  $T_{rie}$ .

3) 设  $r = 1$  ,计算  $n_{rie}$  以及  $h_{re}$  .

4) 设  $r = r + 1$  ,计算  $h_{r+1\ e}$  和  $n_{r+1\ e}$ .

5)  $r = r + 2 , r + 3 , \dots , g$ ;

步骤 3 ( 计算  $X_s^0$  对应适应度值) 计算初始种群  $Pop_0$  中每一个个体对应的适应度值;

步骤 4 ( 非支配排序以及种群多样性保留)

利用非支配排序方法将初始种群中的每一个个体分配到不同的前沿面上 ,并计算每一个前沿面上不同个体间的拥挤距离 ,之后利用拥挤算子将各前沿面上的个体进行排序;

步骤 5 (选择,交叉,变异) 进行选择,交叉和变异操作;

步骤 6 (精英策略) 下一代种群须由上父代种群和子代种群共同组成;

步骤 7 (判断是否停止)  $gen = gen + 1$ , 返回步骤 2 直至收敛.

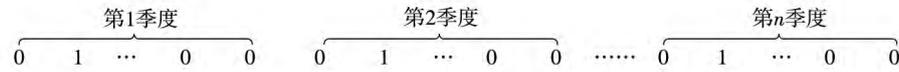


图 2 染色体编码图

Fig. 2 Coding of the chromosome

依据目标函数 适应度函数如下所示

$$\min F_1 = \sum_{r=1}^g \sum_{t=1}^g x_{rt} c (1 - v)^r \quad (22)$$

$$\min F_2 = - \sum_{r=1}^g \sum_{t=1}^g \sum_e n_{rte} \quad (23)$$

$$\min F_3 = \left\{ r \left| \sqrt{\frac{1}{w} \sum_r \left( \sum_t \sum_e n_{r+1,te} - \sum_t \sum_e n_{rte} \right)^2} \right.} \leq u \right\} \quad (24)$$

NSGA-II 用拥挤距离来表示同一前沿面上两个解之间的距离,它是拥挤算子的基础. 依据 Deb 等学者的研究,拥挤度计算方法如式(25)所示.

$$d(s) = \sum_{b=1}^B |F_b(s+1) - F_b(s-1)| \quad (25)$$

式中  $d(s)$  表示各前沿面上第  $s$  个算子拥挤度距离;  $b$  为适应度方程的编号. 另外还需设定交叉率  $P_{cro}$  与变异率  $P_{mut}$ .

## 5 实例分析

这里以南京禄口机场开通到无锡市的长途巴士服务为例实施计算分析. 无锡市居民的年航空出行量为 6.2 万人次,出行者多利用上海浦东国际机场和南京禄口国际机场,到两座机场的距离分别为 176 公里和 165 公里. 浦东机场建成时间早,服务质量好,因此 2006 年前浦东机场在无锡市的市场份额一直保持在 75% 以上.

为增加在无锡市的市场占有率,南京禄口机场于 2006 年 6 月开通直达无锡的的长途巴士. 巴士开通后,禄口机场在无锡市的份额逐步上升(如图 3). 可以看出,在现行时刻表下机场巴士

染色体设计是 NSGA-II 算法中重要的内容,本文设计的染色体编码分为  $n$  个部分,各部分表示某一季度机场巴士所执行的时刻表;各部分中的每个基因位表示该季度内机场巴士在某一时刻上是否发车,1 表示发车,0 表示不发车,编码形式如图 2 所示.

的市场培育期为 29 个月,第 30 个月时禄口机场在无锡市的份额达到 57.8%,之后几乎没有变化.

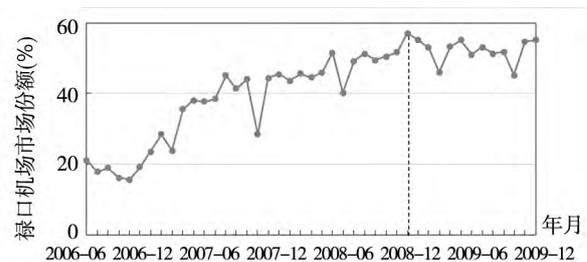


图 3 禄口机场在无锡市的份额增长的实际过程

Fig. 3 Real market increment of Lukou airport in Wuxi city

为动态优化“禄口机场 - 无锡”机场巴士的时刻表,需要做如下的数据准备.

首先,搜集禄口机场和浦东机场的航线和航班信息、无锡市到浦东机场各交通方式的信息和“禄口机场 - 无锡”的机场巴士信息. 其中,禄口机场巴士的发车时刻为: 7: 00、9: 00、12: 00、14: 00 和 16: 00,运行时间为  $2.5 \text{ h} \pm \Delta$  ( $\Delta = 15 \text{ min}$ ).

其次,调查无锡市乘客的航空出行属性(目的地、频率、去机场的交通方式等). 调查时共向乘客发放问卷 3 000 份,回收 2 500 份,被调查乘客的 62% 利用公共交通前往机场. 为计量巴士开通前无锡市乘客选择机场的习惯强度,又在无锡市实施了乘客问卷调查,得知巴士开通前无锡市的 13.1% 的乘客有选择禄口机场的习惯,69.4% 的乘客有选择浦东机场的习惯,17.5% 的乘客没有选择习惯. 无锡市乘客选择浦东机场的习惯强度如图 4 所示,选择浦东机场的习惯强度在 0.3 至 0.6 之间.

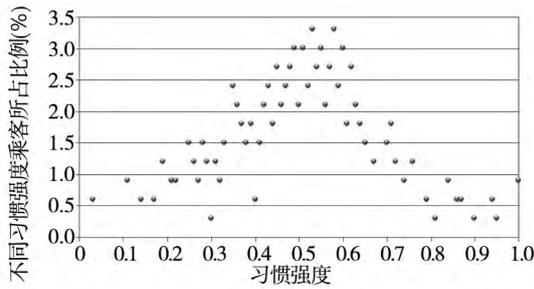


图4 2005年无锡市乘客选择浦东机场的习惯强度

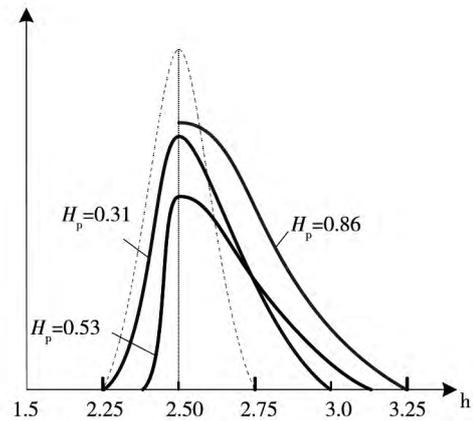
Fig.4 Strength of the Pudong-choosing habit within Wuxi city in 2005

第三,为模拟乘客将客观信息转化为主观信息的过程,分别调查有选择浦东机场和禄口机场习惯的乘客所认知的“禄口机场-无锡市”巴士行走时间的分布规律,得到图5。图中虚线为巴士的实际行走时间分布规律,实线为乘客认知的分布规律。 $H_p$ 和 $H_L$ 分别为乘客选择浦东机场和禄口机场的习惯强度。图5(a)中,各条分布曲线下峰值左侧的面积表示乘客认知的巴士行走时间小于2.5 h的概率( $P_e$ ),右侧表示大于2.5 h的概率( $P_l$ )。可以看出随着 $H_p$ 增加, $P_e$ 逐渐减小而 $P_l$ 逐渐增大,且分布曲线逐渐平坦。这说明乘客选择浦东机场的习惯强度越大,他越认为禄口机场的巴士的行走时间会大于2.5 h,并越认为行走时间的可靠性低。当 $H_p$ 增加至0.86时,乘客认为禄口机场的巴士的行走时间一定大于2.5 h。同理,由图5(b)可知,乘客选择禄口机场的习惯强度越大,他越认为禄口机场巴士的行走时间会小于2.5 h,并越认为行走时间的可靠性大。

上面的分析表明,客观存在与主观认知之间存在差异。客观信息主观化是将图中虚线表示的实际行走时间的分布规律转换成其他线条所表示的主观认知的分布规律。“乘客选择决策”时用的是这种主观化的时间分布规律,而不是实际的行走时间的分布规律。

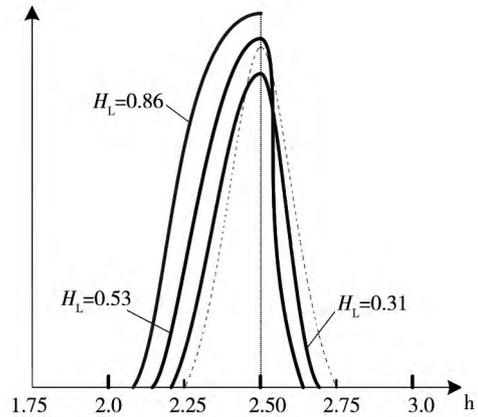
第四,为标定乘客习惯衰减规律,首先调查诸多出行频率不同的乘客的选择习惯强度,然后统计得到习惯强度与航空出行间隔之间的关系如图6所示,再将该关系式转化为乘客习惯强度的衰减规律。由图6可以看出,乘客的习惯强度在前30天内由100%衰减至60%,衰减速度很快;从第30天开始衰减放缓,在第180天时降为0。通

过拟合这些数据得知习惯强度衰减函数中的 $a = 0.019$ 。



(a) 有选择浦东机场的习惯

(a) With habit of choosing Pudong Airport



(b) 有选择禄口机场的习惯

(b) With habit of choosing Lukou Airport

图5 有选择习惯的乘客认知的禄口机场巴士的行走时间的分布情况

Fig.5 Distribution of the airport-bus travel time perceived by habitual passengers

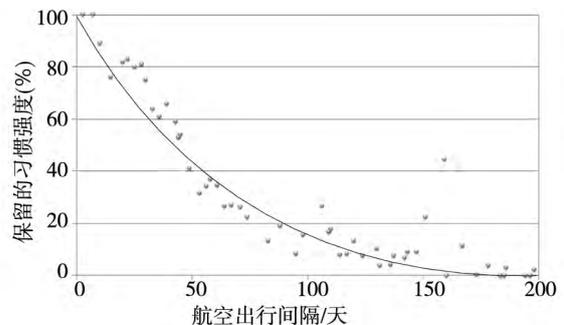


图6 乘客选择习惯强度衰减曲线

Fig.6 Curve describing the decay of airport-choosing habit

基于以上数据对模型进行求解,求解时,设式(3)中 $w = 60, u = 6, g = 42$ 。同时设算法中交叉率

$P_{cro} = 0.7$ , 变异率  $P_{mut} = 0.1$ . 利用 Matlab. Net 2010 进行编码设计, 运行计算机配置为 RAM = 3.0 GB, 运行时长为 123.6 min.

利用 NSGA-II 算法求得模型 Pareto 最优前沿面上的解集点. 这里选取其中一点对应的动态时刻表进行介绍. 时刻表和机场市场份额的增长过程如图 7 所示. 图中, 黑色线表示优化得到的市场

份额增长曲线, 灰色线表示实际的统计数据; 4 个饼图分别为各时段 (7:00 ~ 18:00) 的发车时刻表, 其中每一个分区表示机场巴士在 1 天内的备选发车时刻, 灰色表示发车, 白色为不发车. 可以看出, 与实际数据相比, 优化后的时刻表可使禄口机场的市场培育期缩短 40% (1 年), 同时使巴士在前 42 个月的运营成本减少 23.6%.

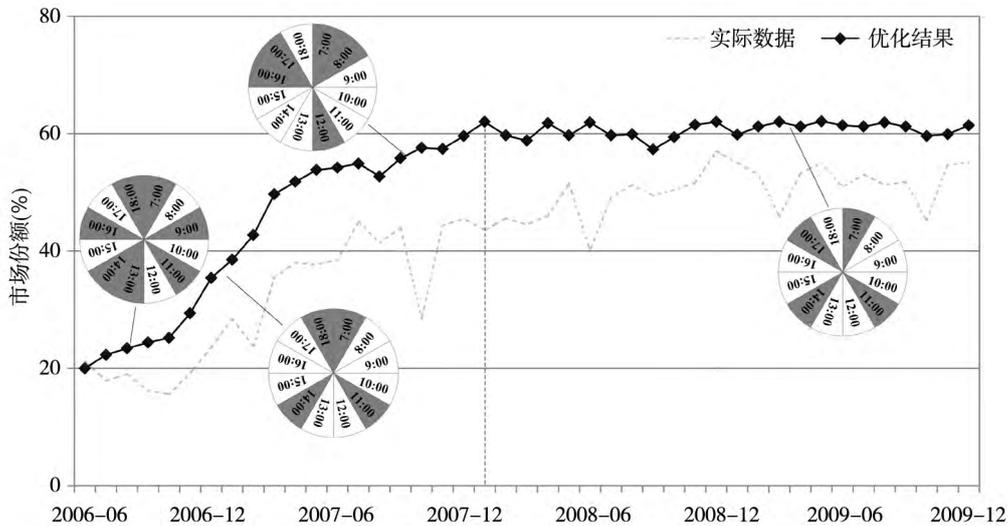


图 7 优化后市场份额增长过程及时刻表安排计划

Fig. 7 Optimized timetable and the corresponding market share increment

可以将优化的市场份额的增长过程分为 4 个阶段.

1) 缓慢增长期 (2006 - 06 ~ 2006 - 12): 市场占有率由 20% 上升至 29%, 月均增长量为 1.5%. 增加的这部分乘客中 69.6% 的乘客没有机场选择习惯, 28.5% 的乘客选择浦东机场的习惯强度低于 0.3. 这说明没有习惯强度和习惯强度低的乘客能较客观地认识机场巴士的优势并快速改变机场选择 (由利用机场 A 转向利用机场 B), 他们是机场巴士开通初期的主要客源.

另外, 机场巴士在该阶段的发车时刻表如图 7 1 号饼图所示. 可以看出, 该阶段机场巴士的发车频率较高, 发车时刻与机场航班的早、午、晚高峰时段相衔接. 统计该阶段乘坐不同时刻巴士的乘客的出行目的发现, 选择 7:00、9:00 和 16:00 出发的乘客中, 有 73% 的乘客为商务出行, 其余 27% 的乘客为私人事务出行; 而选择 11:00、13:00、14:00 和 18:00 出发的乘客中, 34% 的乘客为商务出行, 其余 66% 的乘客为私人事务出

行. 这说明不同时刻发出的巴士所服务乘客的出行目的不相同.

2) 快速增长期 (2007 - 01 ~ 2007 - 05): 市场份额由 29% 上升至 54%, 月均增长量为 4.2%. 该阶段增加的乘客中 79.1% 的乘客原有的选择浦东机场的习惯强度在 0.3 ~ 0.6 之间, 同时巴士的发车时刻集中在公务出行乘客愿意选择的时间点上. 这说明经过一段时间的市场培养, 出行较频繁的公务出行者改变了选择习惯. 值得指出的是, 虽然这一阶段的时刻表发生了变化, 但是缓慢增长期中已改变机场选择习惯的乘客没有再次流向浦东机场, 他们仍然选择禄口机场. 这说明这部分乘客已经具有了稳定的机场选择习惯, 且调整后的时刻表在其可接受范围内.

3) 平缓增长期 (2007 - 06 ~ 2007 - 12): 机场市场份额由 54% 上升至 62%, 月均增长量为 2.1%. 该阶段增加的乘客的 85.6% 选择浦东机场的习惯强度高于 0.6. 与上一阶段相比, 机场巴士的发车时刻与公务出行乘客偏好的出发时刻有更多

的重合,因为此阶段可能改变习惯前来乘坐巴士的乘客大多为公务出行者。由于这部分乘客原有偏向浦东机场的习惯强度较高,因此必须大幅增加机场巴士的客观效用,才能够克服这些乘客的选择习惯所引起的主观效用折减。

4) 平稳期(2008-01~):大部分乘客的选择习惯重新形成,发车时间分布较均匀,发车时间可以兼顾公务出行和私人事务出行两类乘客。

## 6 结束语

在新产品/服务启动初期,供给方会利用促销手段快速吸引顾客。本文研究了这一现象形成的潜在机理并指出促销活动影响顾客的选择习惯,进而影响新产品/服务的市场份额。具体来说,习惯扩大了顾客对新产品/服务的认知风险,导致认知效用低于客观效用,而促销手段可提高客观效用,弥补习惯带来的主观折减。因此,加大市场份额增速和增幅的方法是在培育期内随顾客习惯性选择行为的变化不断调整新产品/服务的客观效用。

基于以上原理,本文以市场培养期最短、培育期内市场份额增长幅度最大和运营成本最低为多重目标,建立“机场长途巴士”时刻表动态优化模型,以南京禄口机场开通的“禄口机场-无锡”的巴士为例进行分析。计算结果显示,优化的时刻表使培育期缩短了40%、运营成本减少了23.6%,在培育期各阶段需制定不同的运营计划。例如,在初期大幅提高客观效用,尽可能多地吸引顾客;在中期要保持客观效用,吸引特定顾客;在后期要合理降低客观效用,寻找既能维持顾客习惯又能最大化收益的平衡点。

本文只考虑了多机场区域中一座机场开通机场巴士后市场份额的变化,没有考虑其他机场可能做出的应对策略(博弈行为)对市场份额的影响。另外,由于本文仅考虑了单个城市开通机场巴士的情况,此时该增加的客流不足以引起机场空中交通的拥堵或影响机票价格。如果考虑多机场区域中的多个城市,还需考虑机场容量与机票价格对乘客机场选择行为的影响,将在未来研究这些问题。

## 参考文献:

- [1]王 勇. 世界民航业的发展与中国民航的战略思考[J]. 改革与战略, 2011, 27(4): 131-133.  
Wang Yong. Development of the world's civil aviation and strategic thinking of China[J]. Reformation and Strategy, 2011, 27(4): 131-133. (in Chinese)
- [2]张晓玲, 吴春春. 基于灰色综合评价法的国内主要机场竞争力评价[J]. 物流工程与管理, 2012, 34(11): 166-168.  
Zhang Xiaoling, Wu Chunchun. The evaluation of main domestic airport competitiveness based on grey comprehensive evaluation method[J]. Logistic Engineering and Management, 2012, 34(11): 166-168. (in Chinese)
- [3]宿凤鸣. 综合交通枢纽的典范—希斯洛机场[J]. 中国民用航空, 2013, (4): 17-19.  
Su Fengming. Heathrow airport: The model of comprehensive transportation hub[J]. China Civil Aviation, 2013, (4): 17-19. (in Chinese)
- [4]刘海澄. 改变老习惯—埃德蒙顿机场实行市场计划与其竞争对手争夺旅客及航空公司[J]. 海外英语, 2010, (8): 93-94.  
Liu Haicheng. Kick the habit: The plan of Edmonton airport to win passengers and airlines from competitor[J]. Overseas English, 2010, (8): 93-94. (in Chinese)
- [5]杨 慧, 宋华明, 周 晶. 收益管理环境下乘客有限理性购票行为研究[J]. 管理科学学报, 2014, 17(6): 20-27.  
Yang Hui, Song Huamin, Zhou Jing. Passengers' ticket purchase behavior with bounded rationality[J]. Journal of Management Sciences in China, 2014, 17(6): 20-27. (in Chinese)
- [6]Heyns G, Carstens S. Passenger choice decisions at a regional airport in South Africa[J]. Journal of Transport and Supply Chain Management, 2011, 5(1): 186-201.
- [7]陈 洁, 杨升荣, 王方华. 在线消费者品牌选择习惯持续性效应分离[J]. 系统管理学报, 2010, 19(3): 329-333.

- Chen Jie , Yang Shengrong , Wang fanghua. Isolation of online consumer brand choice habit persistent effect [J]. *Journal of Systems & Management* , 2010 , 19( 3) : 329 – 333. ( in Chinese)
- [8] Park J Y , Jang S C S. Why do customers switch? More satiated or less satisfied [J]. *International Journal of Hospitality Management* , 2014 , 37( 2) : 159 – 170.
- [9] 姜旭平 , 王 鑫. 影响搜索引擎营销效果的关键因素分析 [J]. *管理科学学报* , 2011 , 14( 9) : 37 – 44.  
Jiang Xuping , Wang Xin. Analysis of the key influential factors on the effects of search engines [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2011 , 14( 9) : 37 – 44. ( in Chinese)
- [10] Ben Abda M , Belobaba P P , Swelbar W S. Impacts of LCC growth on domestic traffic and fares at largest US airports [J]. *Journal of Air Transport Management* , 2012 , 18( 1) : 21 – 25.
- [11] Maertens S. Estimating the market power of airports in their catchment areas—a Europe-wide approach [J]. *Journal of Transport Geography* , 2012 , 22( 5) : 10 – 18.
- [12] Jou R C , Hensher D A , Hsu T L. Airport ground access mode choice behavior after the introduction of a new mode: A case study of Taoyuan International Airport in Taiwan [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* , 2011 , 47( 3) : 371 – 381.
- [13] Chen C F , Lai W T. The effects of rational and habitual factors on mode choice behaviors in a motorcycle-dependent region: Evidence from Taiwan [J]. *Transport Policy* , 2011 , 18( 5) : 711 – 718.
- [14] 张国华 , 郝 媛 , 周 乐. 大型空港枢纽区域集疏运网络优化方法 [J]. *城市交通* , 2010 , 8( 4) : 33 – 40.  
Zhang Guohua , He Yuan , Zhou Le. Optimization of regional passenger distributing network for large airport [J]. *Urban Transport of China* , 2010 , 8( 4) : 33 – 40. ( in Chinese)
- [15] 周小民. 消费习惯是零售业态进化的内驱力 [J]. *宁波经济( 财经视点)* , 2011 , ( 11) : 51 – 52.  
Zhou Xiaomin. Consumptive habit is the internal power to drive retailing form evolution [J]. *Ningbo Economy* , 2011 , ( 11) : 51 – 52. ( in Chinese)
- [16] 代建生 , 孟卫东. 风险规避下具有促销效应的收益共享契约 [J]. *管理科学学报* , 2014 , 17( 5) : 25 – 34.  
Dai Jiansheng , Meng Weidong. Revenue sharing contract for a risk-averse supply chain with promotional effect [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2014 , 17( 5) : 25 – 34. ( in Chinese)
- [17] 孙 杨 , 宋 瑞 , 何世伟. 随机需求下公交时刻表设计的鲁棒性优化 [J]. *系统工程理论与实践* , 2011 , 31( 5) : 986 – 992.  
Sun Yang , Song Rui , He Shiwei. Robust optimization for transit timetable design under stochastic demands [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice* , 2011 , 31( 5) : 986 – 992. ( in Chinese)
- [18] Li X , Wang D , Li K , et al. A green train scheduling model and fuzzy multi-objective optimization algorithm [J]. *Applied Mathematical Modelling* , 2013 , 37( 4) : 2063 – 2073.
- [19] 吉婉欣 , 杨东援 , 段征宇. 基于公交准时化的时刻表制定方法研究 [J]. *城市公共交通* , 2011 , ( 10) : 32 – 36.  
Ji Wanxin , Yang Dongyuan , Duan Zhengyu. Calculation method of timetable based on punctual transit [J]. *Urban Public Transport* , 2011 , ( 10) : 32 – 36. ( in Chinese)
- [20] Sun L , Jin J G , Lee D H , et al. Demand-driven timetable design for metro services [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* , 2014 , 46( 9) : 284 – 299.
- [21] Skinner R E. Airport choice—an empirical study [J]. *Journal of Transportation Engineering* , 1976 , 102( 4) : 34 – 41.
- [22] 赵凤彩 , 吴彦丽. 中国区域多机场系统旅客吞吐量预测方法研究 [J]. *中国民航大学学报* , 2009 , 26( 6) : 56 – 60.  
Zhao C F , Wu Y L. Method of Passenger throughput forecasting in multi-airport system [J]. *Journal of Civil Aviation University of China* , 2009 , 26( 6) : 56 – 60. ( in Chinese)
- [23] 曹学明. 区域多机场系统机场选址模型研究 [J]. *交通运输系统工程与信息* , 2009 , 10( 1) : 117 – 121.  
Cao Xueming. Bi-level programming model for airport location in the multi-airport region [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* , 2009 , 10( 1) : 117 – 121. ( in Chinese)
- [24] 杨忠振 , 陆 婧 , 暴虹利. 市场培育期内机场巴士服务可靠性对机场市场份额的影响 [J]. *交通运输工程学报* ,

- 2014, 14(1): 84–89.
- Yang Zhongzhen, Lu Jing, Bao Hongli. Influence of airport coach service reliability on airport market share during cultivation period[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014, 14(1): 84–89. (in Chinese)
- [25] Lian J I, Rønnevik J. Airport competition—regional airports losing ground to main airports[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(1): 85–92.
- [26] Webb T L, Sheeran P, Luszczynska A. Planning to break unwanted habits: Habit strength moderates implementation intention effects on behaviour change[J]. British Journal of Social Psychology, 2009, 48(3): 507–523.
- [27] Jager W. Breaking bad habits: A Dynamical Perspective on Habit Formation and Change[M]// Hendrickx L, Jager W, Steg L. Human Decision Making and Environmental Perception. Understanding and Assisting Human Decision Making in Real-life Settings. Groningen: University of Groningen, 2003: 56–78.
- [28] 丁秋雷, 胡祥培, 姜 洋. 基于前景理论的物流配送干扰管理模型研究[J]. 管理科学学报, 2014, 17(11): 1–9.  
Ding Qiulei, Hu Xiangpei, Jiang Yang. A model of disruption management based on prospect theory in logistic distribution [J]. Journal of Management Sciences in China, 2014, 17(11): 1–9. (in Chinese)
- [29] Tversky A, Kahneman D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty[J]. Journal of Risk and Uncertainty, 1992, 5(4): 297–323.
- [30] Dubin E, Grishchenko O V, Kartashov V. Habit formation heterogeneity: Implications for aggregate asset pricing[J]. SSRN Electronic Journal, 2012, 19(1): 59–72.
- [31] Deb K, Agrawal S, Pratap A, et al. A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2000, 19(17): 849–858.

## Dynamic optimization of the timetable of airport coach during cultivation period

*LU Jing, YANG Zhong-zhen, Wang Wen-di*

Transportation Management College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China

**Abstract:** As the competition among airports in China becomes increasingly intense, airports have to introduce new services to enhance their competitiveness. As a result, the market share of the airport may increase and the increment in market share would last for a long period which is usually called the cultivation period. Shortening the cultivation period is the key to improve the efficiency and the effectiveness of new services. To maximize the increment in the market share and minimize the cultivation period as well as operation cost, a multi-objective model is established to dynamically optimize the timetable of airport coach during the cultivation-period. By solving the model, the timetable on every time slice during the cultivation period and the curve describing the increment in the market share are obtained. The interaction between passengers' airport choice and the timetable, as well as the dynamic relationship between the market share on the pre-order and follow-up time point is described explicitly in the model. Results indicate that the dynamic timetable could shorten the cultivation period of the new service and impel the market share to grow rapidly.

**Key words:** airport coach; timetable optimization; dynamic optimization; behavior simulation; market cultivation period