

# 基于层次分析法的机场出租车问题研究

李昶威<sup>1</sup>, 王路平<sup>2</sup>, 兰成志<sup>1</sup>, 刘 灿<sup>1</sup>

(1.沈阳航空航天大学航空发动机学院, 辽宁 沈阳 110000; 2.沈阳航空航天大学工程训练中心, 辽宁 沈阳 110000)

**摘 要:**本文考虑机场出租车问题, 基于层次分析法, 建立出租车司机选择决策模型, 据此, 建议司机选择留在蓄水池中等待。本文采用多目标决策类 TOPSIS 方法, 验证模型合理性和司机对相关因素依赖性。最后, 基于实际数据, 比较分散、聚集乘车区的按序出发、分别出发的模式, 得到最高效率乘车方案是分散上车区分别出发的 374 辆/h。

**关键词:**层次分析法; 多目标决策类 TOPSIS 方法; 乘车效率指数

中图分类号: U115

文献标识码: A

文章编号: 1004-7344(2021)35-0175-03

## 1 研究背景

出租车是乘客去市区选择的主要交通工具之一。考虑各类因素, 例如不同季节和气候下乘客数量的变化、不同天气下航班的抵达数量, 分析影响司机做出选择决策的因素, 建立合理的数学模型, 给予司机最恰当的选择决策。调研收集在实际情况下的相关数据, 分析所建立模型的合理性和通过转换计算得出对相关要素的依赖性。在实际情况下, 出租车和乘客会排队等待载客和乘车, 合理安排出租车和乘客, 给出最佳的上车点安排方案, 使乘车效率最高。为了达到出租车收益均衡的目标, 综合考虑目的地距离远近, 给予短途出租车一定的“优先权”, 提出可行的“优先”安排方案。

## 2 模型的建立与求解

### 2.1 方案权重的分析

本问题要求建立合适的选择决策模型, 分析出租车司机应作何种决定才可以使司机的收益最优。首先, 通过对机场出租车对于不同相关因素内在权重的分析, 对各个相关因素进行权重划分, 然后通过分析得到出租车司机面临的两个方案: 返回市区接客和在蓄水池等待接客, 接着对这两个方案在不同的因素条件下计算出总权重, 进而得到司机的最佳选择方案。

问题可分为三个层次, 依次为最上层的目标层 M, 目标是给予司机一个最佳方案; 中间层的准则层 C, 准则是考虑在各种因素影响下乘客数量变化和司机的收益情况, 会对司机决策产生影响的五个因素, 包括损失潜在的载客利益 C1、空载费用 C2、时间成本 C3、蓄水池中车的数量 C4、乘客流量 C5; 最下层为方案层, 即返回市区接客 P1 和在蓄水池等待接客 P2, 见图 1。

(1) 构造 M-C 判断矩阵: 将 C1、C2、C3、C4 和 C5 五个因素两两比较, 根据“1-9 标度的含义表”, 得出判断矩阵。

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1/5 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 1 & 1/3 & 1/2 & 1/3 \\ 5 & 3 & 1 & 2 & 1/3 \\ 2 & 2 & 1/2 & 1 & 1/3 \\ 2 & 3 & 3 & 3 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

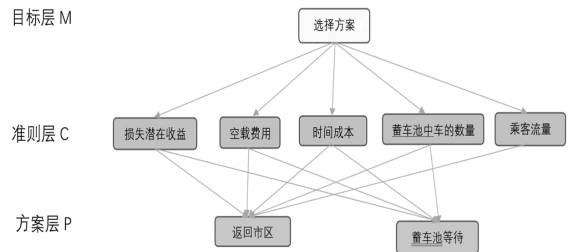


图 1 层次分析

利用 Yaahp 软件求得矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max} = 5.3958$ , 依据特征值, 求得权重向量为  $\omega_i = (0.1097, 0.0835, 0.2711, 0.1577, 0.3798)^T$ 。由公式  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ ,  $CR = \frac{CI}{RI}$ , 得  $CR = 0.0883 < 0.1$ , 表明该判断矩阵通过了一致性检验。

(2) 分别构造 C1-P、C2-P、C3-P、C4-P 和 C5-P 判断矩阵: 将方案层中的 P1 和 P2 进行对比, 得到判断矩阵。分别求解 C1-P、C2-P、C3-P、C4-P 和 C5-P 的最大特征值  $\lambda_{\max}$ 、权重向量和一致性指标  $CR_j$ 。可以得到, 矩阵 C1-P、C2-P、C3-P、C4-P 和 C5-P 都通过了一致性检验。

我们计算出 P 层中每个方案所占的总权重, 返回市区为 0.4804, 蓄水池等待为 0.5196。

据此我们可以得出以下结论: 分析损失潜在利益、空载费用、时间成本、蓄水池车的数量和乘客数量 5 个因素, 综合考虑抵达航班的数量和乘客数量的变化规律, 通过 AHP 模型, 依次计算出留在返回市区接客和留在蓄水池等待接客的总权重, 根据计算结果可得出司机会留在蓄水池中等待载客。

### 2.2 司机依赖因素分析

要求是通过实际数据进行统计分析, 得到出租车司机的优选方案, 并在同时证明 2.1 中模型的合理性, 统计数据后对数据进行合理化处理得到一组可以和问题一中的模型数据作对比的新数据, 对比两组数据的拟合情况, 如果拟合效果较好, 说明模型合理性较好, 如果拟合效果相差比较明显, 则说明 2.1 的模型合

理性比较差,此时就需要我们对于 2.1 中的模型进行改进或者重新建立新的模型以达到解决问题的目标。出租车司机对不同相关因素的依赖性则需要问题一模型合理性较好的条件下,得出不同因素对于出租车司机的重要性权重,进而判断出司机的决策对于不同因素的依赖性。

通过对准则层的五个因素的数据进行统计并剔除无意义数据以后得到数据结果,然后针对 2 种方案将数据转化成对应因素的权重,通过与问题一中的各个相关因素的权重进行计算得到每个相关因素在不同方案中的得分,接着对各个得分进行求和,得到不同方案的总权重,通过不同方案的总权重与问题一中的对应的模型的不同方案的总权重进行比较,分析比较的结果,进而得出模型的合理性以及对各个因素的依赖性,见表 1。

表 1 C-P 实际数据

	P1	P2
C1	180 元	0
C2	100 元	0
C3	1.5h	2h
C4	500 多辆	700 多辆
C5	10 万人次	20 万人次

根据转化公式:

$$C1[P1]=\frac{180}{180+0}=1 \quad C1[P2]=\frac{0}{180+0}=0$$

$$C2[P1]=\frac{100}{100+0}=1 \quad C2[P2]=\frac{0}{100+0}=0$$

$$C3[P1]=\frac{1.5}{1.5+2}=0.5714 \quad C3[P2]=\frac{2}{1.5+2}=0.4286$$

$$C4[P1]=\frac{500}{500+700}=0.5833 \quad C4[P2]=\frac{700}{500+700}=0.4167$$

$$C5[P1]=\frac{10}{10+20}=0.3333 \quad C5[P2]=\frac{20}{10+20}=0.6666$$

利用公式,计算出根据实际数据得到的两个方案的总权重:

$$f(P1)=\sum_{i=1}^5 C1[P1] \times \omega(C1)=0.4570 \quad (2)$$

$$f(P2)=\sum_{i=1}^5 C1[P2] \times \omega(C1)=0.5430 \quad (3)$$

由式(2)、式(3)结果可得 P2 的总权重大于 P1 的总权重,且权重与模型一所得总权重 0.4804 和 0.5196 相差不大,与出租车司机选择决策结果一致,此结果说明模型一的合理性。

通过对层次分析法准则层中 5 个相关因素的权重的相互比较,较为直观地得到出租车司机对于各相关因素的依赖性大小,其按从大到小的顺序是乘客流量(0.3798),时间成本(0.2711),蓄车池排队数量(0.1577),损失的潜在收益(0.1079),空载费用(0.0835)。

据此,我们可以得出出租车对乘客流量的依赖性最大,其次是时间成本、蓄车池排队数量、损失的潜在收益、空载的潜在收益和空载费用。

由于人们生活质量不断提高,人们出行方式也在向高效便捷改变,搭乘飞机出行的人数始终处于较高水平,乘客流量常年不会太低,通过对出租车司机对于不同因素的依赖性也可以分析出:留在机场等待接客的收益会较高。

### 2.3 最高效率的选择

要求合理安排上车点使总的乘车效率最高。综合考量单次乘车人数、行李数量及发车时间等因素,引入乘车效率指数这一概念。根据具体要求提出分散上车区和聚集上车区两种上车区划分模式,以及按序出发和分别出发两种对于出租车的出发模式。

我们首先引入乘车效率指数( $\eta$ )这一指标。乘车效率指数是基于已知数据基础,结合单次乘车人数、行李数量、发车时间等因素,关于乘车效率问题的综合指标。经数据分析,我们得到乘车效率指数与对应指数所需时间的关系,见表 2。

表 2 乘车效率指数与对应指数所需时间

乘车效率指数( $\eta$ )	对应指数所需的时间(t)
1	90-120s
2	60-90s
3	50-60s
4	40-50s
5	30-40s
6	20-30s
7	10-20s
8	5-10

同时,我们在网上查阅到郑州新郑国际机场出租车进出蓄车池的实时数据,进行数据处理后我们得到在非人流量高峰的常规时间段郑州新郑国际机场的平均出租车送客量为 120 辆/h。经过异常值剔除,同时使用 3 $\sigma$  原则进行初步检验。计算得到在该时段内郑州新郑国际机场的平均乘车效率指数( $\eta$ )为 4.850,同时得到平均乘车时间为 42s。

由于所给的乘车区仅有两排车道,所以我们设计两种发车方案:按序发车和分别发车。对于按序发车模式来看,出租车不能独立进出,必须按停车顺序进出,单个停车位长 6m。乘客上车规则为:首先乘第 1 辆车,然后乘坐第 2、3、4 辆车。这一模式下多个泊位的候车乘客可同时上车;但是前车的乘车效率指数直接影响后续车辆。按分别发车模式来看,出租车泊位之间相互独立,出租车可以单独进出每 1 个泊位,单个停车位长 8m。出租车独立进出泊位与其他车辆之间的干扰较大,出租车进出需要占据 2 根车道。上车规则为:优先选择停靠好的出租车。该模式下乘客的乘车效率指数不影响后续车辆。

通过查阅美国道路通行能力手册(HCM)中关于出租车上客点通行能力的计算方式  $Q=\frac{3600RN_b}{h}$ 。其中:Q-出租车上客点通行能力,辆/h;R-抵偿停靠时间波动的折减系数,通常 R=0.833;N<sub>b</sub>-上客点的有效泊位数;h 为平均停靠时间。

有效泊位数 N<sub>b</sub> 是指对于线性排列的多个泊位,每个泊位不是充分有效的,需根据使用效率进行折减。这是由于乘客不能等量分布在每个泊位。而且相邻车辆可能会相互干扰,延误进、出泊位的时间,从而导致多泊位的停靠点每个泊位的通行能力与一个泊位停靠点不同。

我们提出以下上车区的空间管理方案:

(1) 聚集式上车区。聚集式上车区聚集便于管理和调度,但同时缺点明显,对于从较远到达出口出来的旅客携带大量行李的

步行时间较长,同时也导致出租车等待时间,加大影响出租车泊位的有效率。

$$\text{聚集式按序出发: } Q = \frac{3600RN_b}{h} = 180 \text{ 辆/h}$$

$$\text{聚集式分别出发: } Q = \frac{3600RN_b}{h} = 231 \text{ 辆/h}$$

(2)分散式上车区。分散式上车区相较于聚集式上车区可以大量减少乘客步行时间,减少出租车等待时间显著提升现有的出租车泊位有效率,但需要适当增加管理和指导人员,增加管理费用方面的支出。

$$\text{分散式按序出发: } Q = \frac{3600RN_b}{h} = 320 \text{ 辆/h}$$

$$\text{分散式分别出发: } Q = \frac{3600RN_b}{h} = 374 \text{ 辆/h}$$

采用分散式上车区分别出发的模式乘车效率最高,达到 374 辆/h。

### 3 模型评价

#### 3.1 模型优点

(1)将人的思维方式简化成数学过程,更加明确,具体化,使决策者更加容易掌控与明确处理。

(2)对数据的合理化处理使得数据更加贴合模型,使得对模型的合理化判断更加直观明确,进而使得司机的决策对各个因素的依赖性更加明显,合理。

(3)对一些异常值进行剔除,保证数据结构的稳定性。

#### 3.2 模型缺点

对于一些因素,例如:飞机维修、飞机延误、乘客意愿等因素,在此忽略,对最后的结果有一定的影响。

#### 参考文献

- [1] 汪晓银,陈颖,陈汝栋,等.数学建模方法及其应用[M].北京:科学出版社,2018:153-158.
- [2] 吴娇蓉,李铭,梁丽娟.综合客运枢纽出租车上客点管理模式和效率分析[J].交通信息与安全,2012,30(4):18-23.
- [3] Transportation Research Board. Highway capacity manual 2000[M]. Washington, D.C.: National Research Council, 2000.
- [4] 林思睿.机场出租车运力需求预测技术研究[D].成都:电子科技大学,2018.
- [5] 颜超.上海市枢纽机场陆侧公共管理研究[D].上海:华东师范大学,2015.

收稿日期:2021-06-27

作者简介:李昶威(1999—),男,汉族,辽宁抚顺人,本科在读,研究方向为飞行器动力工程。

通讯作者:王路平(1989—),女,汉族,辽宁锦州人,硕士研究生,实验师,研究方向为智能控制。

(上接第 41 页)

(1)调整老专业的新方向。例如:教育部发布的专业目录中已对相关方向做了优化和调整,增加了机械制造及自动化(增材制造技术)方向,(学科代码:560102)。因此,院校在所在工科专业里进行调整,容易实现稳定过渡。

(2)增材制造技术课程作为第二、三专业选修课程。可将增材制造专业作为机械类近似专业的第二专业课程,相关专业(如模具设计与制造、机械设计与制造、机械设计制造及其自动化、工业设计等)增加增材制造软件、工艺、材料、设备等方面新知识。学生可以经考核获得第二专业毕业证书。

(3)跨专业选修。设置跨专业的选修课程。相关专业有铸造、金属材料与热处理技术、材料成型(铸造)、建筑学、工业设计等,这些专业技术都可与增材制造技术结合,拓展专业应用。通过选修,可拓展学生的知识面,已主修专业为主、增材制造工程专业为辅的一专多能型专业人才,为学生多争取一项专业技能,甚至获得多个专业技能证。以此解决目前高职高专教育学生专业口径过窄、对就业市场变化适应能力差的问题。

(4)替代必修课学分。现在的职业技术学院学生的文化理论课尤其是英语基础普遍较差,他们要得到必修课的所有学分显然是不现实的。必修课无法获得足够的学时,允许学生以其他专业课学分来替代,只要总学分达到规定的要求,即可达到毕业条件。

(5)组织各类大赛,搭建双创平台。为了充分发挥学生的个性化,鼓励学生在完成必修课和选修课的同时,应积极参加各类专

业技能训练,在学校认可的各类技能大赛中获奖,可给予一定的学分奖励。参加各类 3D 打印创新大赛,对学生个人发展、学校扩大影响力都大有裨益。

#### 参考文献

- [1] 卢秉恒,李添尘.增材制造(3D打印)技术发展[J].机械制造与自动化,2013(4):1-4.
- [2] 李方正.中国增材制造产业发展及应用情况综述[J].工业技术创新,2017,4(4):1-5.
- [3] 卢秉恒.我国增材制造技术的应用方向及未来发展趋势[J].表面工程与再制造,2019,19(1):11-13.
- [4] 吴淼,顾国强.增设 3D 打印技术专业方向的必要性及可行性分析[J].内燃机与配件,2020(6):284-286.
- [5] 教育部等四部门印发《关于在院校实施“学历证书+若干职业技能等级证书”制度试点方案》的通知[EB/OL].2019-04-04.http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-02/13/content\_5365341.htm.
- [6] 徐国庆.职业教育课程论(第二版)[M].上海:华东师范大学出版社,2015:45.

基金项目:2020 年教育部产学研项目“CAD 及 CAE 数字化技术在增材制造中(3D 打印)的应用”(201902003004)。

收稿日期:2021-07-17

作者简介:邱志惠(1962—),女,汉族,山东莱州人,本科,副教授,主要从事机械教学科研管理工作。