

# 2015 年（第四届）全国大学生统计建模 大赛参赛论文

论文名称 高铁时代下旅客出行交通方式选择及现代运输业  
均衡发展研究<sup>1</sup>

参赛类别 大数据统计建模类 市场调查分析类

参赛组别 本科生组 研究生组

参赛单位 南 京 邮 电 大 学

参赛成员 刘意程 李丝琦 高雅琦

指导老师 曹亚东

2015 年 6 月 26 日

---

<sup>1</sup> 注:该论文获得由中国统计教育学会举办的“2015 年（第四届）全国大学生统计建模大赛”大数据统计建模类本科生组二等奖。

# 高铁时代下旅客出行交通方式选择及现代运输业均衡发展研究

南京邮电大学 参赛成员：刘意程、高雅琦、李丝琦

## 摘要

作为现代物流和国民经济发展根基，运输业在国家发展中具有重要的地位。21 世纪以来我国迎来了铁路高速发展时期，铁路里程位居世界第一位，特别是高铁的建设极大的促进了我国运输业的发展，凭借着速度的极大提升冲击了我国航空业、航运业的客户占有率。在高铁时代高速发展时代的背景下，如何实现均衡我国各运输业的发展、实现高速运输网体系建设成为社会热点问题。同时，随着人们生活水平的不断提高，我国旅客的需求呈现多样化、不确定性，但目前的运输业的服务水平仍然无法满足旅客的不确定需求。如何实现旅客选择偏好度的提升成为各运输行业的难题？因此基于高铁时代对旅客出行交通方式的选择研究具有巨大意义。

本文从宏观和微观两个角度入手分析旅客出行交通方式选择行为，通过建立数学模型对旅客运输量进行数据分析，寻找我国运输网均衡发展方式。基于效用理论，从宏观和微观两个角度对旅客出行不同业务需求进行研究，并探讨出消费群体需求特征差异和产生差异的原因。并采用多元 *Logit* 模型建立旅客出行方式的选择模型，并分析选择的弹性和概率。结果可推测出不同消费群体的选择偏好关系。根据分析结果，我们总结出在高铁时代背景下，旅客的不确定需求差异和出行选择模型，从而为运输业的发展提出建议，实现我国运输业的协调发展和服务质量水平的提升，并为我国运输业市场发展阶段和制定有效市场策略提供新的工具，使得我国交通资源最优化配置。

**关键词:**高铁时代 运输网体系 不确定性需求 效用理论 多元 *Logit* 模型

# 正文

## 1. 研究背景

### 1.1 问题提出

随着社会经济的不断发展，交通运输业也发生了翻天覆地的变化，人们的生活方式也随之改变，更多的人选择走出家门，并且对于出行的数量和质量也有了更高的要求。旅客们对于出行过程中的安全、舒适、便捷等高质量的服务有了多样化的追求。

高速铁路是通过改造原线路使列车最高运营速度在每小时 200 公里以上的铁路系统，或专门修建的营运速率大于每小时 250 公里的“高速新线”。在 2008 年京津城际铁路及合宁客运专线开通后,我国高速铁路飞速发展。根据 2015 年底数据统计,我国高铁运营里程已居世界第一位达 1.8 万公里,我国已成为世界上运营里程最长、高速铁路发展最快、运营速度最高的国家,标志着我国“高铁时代”的到来。这是目前高铁时代铁路发展现状。



图 1-1 我国高速铁路网基本构架

由于高铁的加入,以传统铁路、公路、航空三种交通方式为主的客运市场格局将受到冲击。四种大型交通运输工具之间将发生激烈的竞争,由此导致旅客交通工具选择行为发生变化。根据前人研究,客运公路市场受到的影响远不及航空运输受到的影响大。截至 2014 年底,中国高铁运营里程已达 11152km,根据《中长期铁路网规划(2008 年调整)》,预计到 2015 年底,中国高铁运营里程将达 1.6 万 km 以上,几乎覆盖我国经济最发达、人口最密集地区。高铁对短程航空客运市场产生了不同程度的分流作用,航空客流的减少直接导致了部分短程航线减少甚至取消。2010 年郑州至西安(505km)高铁投入运营以来,导致幸福航空停运了郑州至西安的航班;武广高铁的开通也迫使武汉至广州(1069km)的航班以降价来应对;随着南京-武汉高铁的运营,2011 年南京往返武汉的航班每天也减少至仅有 6 对。所有这些实例都表明将对沿线地区航空市场造成严重的影响。而对于长途客运市场,高铁却不占多少优势,航空还是占主导地位。到 2020 年,我国将建成以“四纵四横”为骨架的全国快速客运网,时速在 200 公里以上的客运专线将达到 18000 公里,届时,800 公里以内的短距离航线将受到高铁更为严重的冲击。可以预见,随着高速铁路的急速发展,未来我国的客运市场会发生深刻变化。

消费者行为研究是市场营销活动的基础,对目标市场中的消费者行为的深刻理解也已成为构建竞争优势的前提条件。西方不乏消费者行为研究,美国加州大学伯克利分校的 MacFadden 教授更是以对消费者选择行为的研究所做出的发展和贡献获 2000 年诺贝尔经济学奖;香港及台湾学者比较早开始对中国消费者行为的研究;国内的消费者研究则刚刚起步。随着中国高铁的迅猛发展以及市场竞争的加剧,客运市场的结构已经发生了深刻的改变,我国旅客的需求呈现多样化、不确定性,但目前的运输业的服务水平仍然无法满足旅客的不确定性需求,对消费者行为进行深入了解就显得尤为重要,以便国家能够合理安排客运市场的布局,为人们出行提供便利。

## 1.2 研究现状及不足

随着交通需求管理(Transportation Demand Management)的不断发展,越来越多的学者希望通过实证研究和建立模型的方式对居民出行方式进行分析与预测,从而为交通系统规划和交通管理政策的制定提供基础性数据和分析评价标准。目前交通需求预测方法中应用最为广泛的理论当属 20 世纪 50 年代起源与美国的

“四阶段”(Four-step)预测法。它由出行发生/吸引 (Trip generation/attraction)、出行分布 (Trip distribution)、交通方式划分、交通分配 (Traffic assignment)四个阶段划分,但是这种预测法存在无法进行广域的数据分析,无法有效的分析旅客行为的需求关联性。由于采用的是集计的统计方法,无法实现对误差的修正。

虽然目前有很多的研究集中于交通方式的研究,但是主要是从交通管理层面的分析。如李雪飞(2014)基于扩张 Logit 的交通分配模型与算法研究。还有部分学者就居民出行方式进行研究,如王迎(2007)发表的基于活动的城市居民出行方式选择模型研究。但是目前国内只有少数的学者就高铁发展对航运业的冲击进行过研究,并通过建模如对航运和高铁距离分界点进行研究分析并得出旅客在不同距离区间时对不同出行方式的选择,如丁金学等学者就高铁与民航的竞争博弈及其空间效应进行研究,得出在 500—900 千米区间是高铁与民航显著的竞争距离,还有部分学者,如 Jim Steer(2008)就欧洲 18 个城市采用实证分析来得出高铁与民航竞争激烈的区间。日本国土交通省(2004)就新干线对竞争激烈的区间进行分析,这部分的研究主要着眼于距离远近对于消费者的影响,并不能很好的反映旅客的交通出行方式选择。消费者在进行行为选择时是理性且具有偏好性的,如果只从部分的角度进行分析是无法正确反映消费者的选择模型。

总的说来,我国交通出行研究局限于现状特征分析的描述和利用统计数据进行分析,缺乏对个体完整交通方式的选择的微观分析。

### 1.3 研究思路

综合目前的研究理论成果,本文针对我国正处于的高铁时代入手,探究高铁的发展对其他运输行业的影响因素,并利用数据分析得出其影响因素的权重,得到最终的影响因素模型。模型建立于对旅客进行的微观分析,以消费者出行的现状进行调查分析,并建立模型对数据进行挖掘分析。对于消费者的实证研究分析基于经济效应、速度效应、舒适度效应、及不可控变量等指标进行分析讨论。最终以旅客出行偏好程度来分析对于消费者选择模型。

在调查分析中,以南京为中心为例,分别建立三个 OD (Origin Destination)对,如南京到上海,南京到青岛,南京到北京,距离的设定由短及长,都具有良好的交通体系,出行旅客具有多重接近的出行选择,具有理想的分析条件,同时也具有很好的代表性。根据 OD 对,在中国铁路网和中国交通年鉴获得数据。在进行数据分析后,引入模型进行商务分析,首先引入两种的交通方式选择模型,并进行分析讨论。在讨论之后进行三变量的分析,最后进行推广到多重变量的分析,得到旅客出行是的选择概率。

分析数据对最后的结果影响中,我们可根据对旅客的消费者行为决策因素

权重比进行判断,从而分析出某一种出行交通方式在某一情境下的优势劣势。根据优劣势探究问题,最后对目前的航运业企业的发展提出建议,提供一套完整的解决方案和工具。

## 2.方法综述

### 2.1 理论简介

本文的模型涉及的理论基础包括 效用理论模型、二重 Logit 模型(Binary Logit Model 及多元 Logit 模型(Multinomial Logit Model)、Probit 模型,马尔蒙特卡洛随机模拟方法(Monte Carlo),协方差方程。

#### 1、效用理论模型

效用指消费者从消费选择中获得的愉悦,或是需求得到的满足。在旅客交通选择的问题中,旅客选择可认为是一种与消费者具有相似的选择原理,可以将效用理论使用于交通问题中的选择行为中。根据效用理论,在普遍的情况下,旅客在出行方式的选择过程中会按照效用最大化的方案。同时,选择最大化效用的方案具有的一定特性,这些特性按照旅客的不同而不同,存在差异性。这些差异的产生源于旅客的收入水平、职业、年龄等等因素。

根据对消费者的微观分析和数据调查,设置四个主要的影响变量和一个修正变量,定义为确定性效用 $U_i$ 和修正效用 $\eta_i$ 。假设旅客 $n$ 出行交通选择方案的集合是 $A_n$ , $i$ 方案的选择效用为 $U_i$ ,同时将效用参数设定为经济性 $e$ 、速度性 $v$ 、舒适性 $c$ 、便捷性 $f$ 等问题,此可以设立效用理论模型。模型假设:

(1) 只参考经济效益、速度效益、舒适性,边界性四个因素对消费者选择的影响。

(2) 消除时间序列给票价带来的影响,只考虑一般情况下出行费用。

(3) 消费者总的选择偏好倾向程度为定值,即 100%

(4) 不考虑消费者极端和紧急情况,即消费者同时考虑三种效用。

#### 1.1 确定性效用分析模型

$$U_i = \alpha U_{i,e}^{-1} + \beta U_{i,e}^{-1} + \gamma U_{i,c}^{-1} + \delta U_{i,f}^{-1} + \sum_{i=1}^t \eta_i$$

其中,  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$   $\delta$  表示各指标的偏好程度, 由于每个人的偏好具有不同性, 因而  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$   $\delta$  是一个浮动的值, 但具有特定群体具有一定的相似性, 通过对数据进行散点图的绘制, 可以线性回归得到近似值。

①经济效用:

$$U_{i,e} = I_i \times d$$

$I_i$  表示该交通方式的票价,  $d$  表示 OD 对的距离。经济效用模型表示旅客在出行中的价格与距离的乘积, 可分析旅程费用对旅客的性价比情况。国务院批准的《民航国内运价改革方案》确定国内机票价格基准价 (2014 年新修订) 为 0.81 元/人·km; 高铁的出行票价参照京津、武广、郑西、沪宁等几条相同设计时速且已通车运营的高铁票价定价标准计算为 0.47 元/km。

②速度效用:

$$U_{i,v} = \frac{d}{V_i} \times \bar{T}$$

$V_i$  表示速度指标,  $\bar{T}$  表示选择出行方式的时间成本。每个人的实际那都具有一定的时间成本, 在牺牲时间耗费在交通的过程中同时也在丧失时间成本。当然, 时间成本也具有一定的差异性。 $\bar{T}$  为时间成本, 单位时间成本即人均时间价值, 是指每个人平均每小时能创造的时间价值, 其可根据统计年鉴的年度人均 GDP 与年度人均工作时间的比值计算求得。2014 年我国人均 GDP 为 45380 元, 全年工作时间按 2000h 计 (扣除法定节假日全年工作 250d, 每天按 8h 工作制), 则 2014 年的人均时间成本为 22.69 元/h。

③舒适度效用:

$$U_{i,c} = \frac{J}{[1 + a \times e^{(-b \times t_i)}]} \times \bar{T}$$

$J$  表示旅客极限疲劳恢复时间,  $b$  表示旅行时间的疲劳恢复时间系数, 这和目前的各种交通方式的各自行业的服务水平也存在一定的关系。 $J$  表示极限疲劳恢复时间;  $a$  为常量;  $b_F$  为乘坐飞机的单位旅行时间的疲劳恢复时间系数,  $b_G$  为乘坐高铁的单位旅行时间的疲劳恢复时间系数;  $t$  为旅行时间;  $\bar{T}$  为时间成

本。各参数的取值分别为： $J=16$ ， $a=69$ ， $b_F=0.28$ ， $b_G=0.59$  由此可以求出不同旅行时间  $t$  下的旅行疲劳恢复时间。不同的交通方式具有不同的舒适度。

便捷度效用：

$$U_{i,f} = \sum_{t=1}^t T_i \times \bar{T}$$

其中  $T$  表示旅客在行驶中所消耗的等候时间，进站时间，到起始站点的的时间的总和。

## 1.2 修正效用模型

通过对旅客的微观分析可以发现面对多重选择的时候，有时候会出现不确定的效用参与到最后的决策中，如情绪的变化和对于某种交通方式的不同选择。对于这种不可确定的变量因素，我们设置修正效用模型。其中假定不确定因素为有限的个数。

$$\sum_{i=1}^t \eta_i = \eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_n$$

## 1.3 效用最大化理论模型。

在面对多种选择时，旅客会根据自己的效用最大化来进行选择，在选择集合中可以得到旅客最后的选择概率  $P$ ， $i$  为某一种方案。模型为：

$$\begin{aligned} P_i &= \text{Prob}(U_i > U_j, i \neq j, i \in A_n, j \in A_n) \\ &= \text{Prob}(U_i + \eta_i > U_j + \eta_j, i \neq j, i \in A_n, j \in A_n) \end{aligned}$$

$$0 \leq P_i \leq 1, \sum_{i \in A_n} P_i = 1$$

在信息不完整的假设前提下，由于在大多数的情况下旅客由于出行的可选择方案无法完整获得，即使旅客有能力获得正确的信息，由于认知的片面性，旅客也无法完全获得信息。同时，旅客受社会环境、个人品行等个人因素的影响部分难以测定，这些难以测定的数据不可避免的具有误差，这也使得消费者不一定会选择事实中最优的方案，而更多的选择自己效用最优的决定，因而可以说明效用函数比正确的选择函数模型更能反映旅客出行时的爱好。

## 2. 基于效用理论的Logit模型及其衍生

假设随机项符合相互独立的二重指数分布 (Gumbel distribution) 则效用函数



中的  $V^* = V_i - V_j$  服从逻辑概率分布 (Logistic distribution)。当假设随机项服从正态分布的时候, 则可以推导出 Probit 模型。但 Logit 模型比 Probit 模型在大数据的情况下具有精确性。同时, Logit 模型具有更大弹性和更强的适应性。

设想在旅客出行的选择方案中, 一共只有两个选择的变量因素, 在之后数据分析中, 我们设想只有飞机和高铁这两种具有相似竞争力的出行交通方式方案, 当只有两个选择项时的 Logit 模型为 BL 模型 (Binary Logit Model), 根据前面在效用理论的假定前提, 并将当只有两个选择项的时候, 旅客的出行的选择概率为:

$$P_1 = P(U_1 > U_2) = P(V_1 + \eta_1 > V_2 + \eta_2) = P(\eta_2 < V_1 - V_2 + \eta_1)$$

其中为避免符号重复, 将确定性效用函数设为一个符号为  $V$ , 当  $\eta_1, \eta_2$  符合相互独立且相同的二重指数分布 (Gumbel 分布) 可推导出概率公式:

$$\begin{aligned} P_1 &= b \int_{-\infty}^{+\infty} w * \exp(-by) dy \\ &= \int_0^1 \frac{w * \exp(-by)}{w * \exp(-by) [1 + \exp(bv_2 - bv_1)]} dw \\ &= \frac{1}{1 + \exp(bv_2 - bv_1)} \\ &= \frac{\exp(bv_1)}{\exp(bv_1) + \exp(bv_2)} \end{aligned}$$

经过推导, 得到了二项 Logit 模型, 简记为 BL 模型 (Binary Logit Model)。此模型可用于两种选择项情况下的旅客出行交通方式选择。

当旅客出行的交通从两项的选择推广到多项时, 与上面相同, 随机项  $\eta_{i,n}$  仍然符合二重指数分布 (Gumbel 分布), 从而推导出多项的 Logit 模型:

$$P_{in} = \frac{e^{\mu(\eta_{in} + V_{2n})}}{\sum_{j \in A_n} e^{\mu(\eta_{jn} + V_{jn})}} \text{ 或写 } P_{in} = \frac{e^{\mu(\eta_{in} + V_{2n})}}{\sum_{j=1}^{J_n} e^{\mu(\eta_{jn} + V_{jn})}}$$

其中,  $j_n$  表示第  $n$  个旅客的选择的集合。

当  $\eta = 0$ , 就得到多项 Logit 模型 MNL 模型 (Multinomial Logit Model):

$$P_{in} = \frac{e^{\mu V_{in}}}{\sum_{j \in A_n} e^{\mu V_{jn}}} \text{ 或写 } P_{in} = \frac{e^{\mu V_{in}}}{\sum_{j=1}^{J_n} e^{\mu V_{jn}}}$$

影响出行模式决策行为的因素分为宏观及微观因素：宏观因素主要是包括交通政策、社会经济发展水平、服务水平等等因素，微观因素主要包括：可达性，经济性，便捷性等问题，同时还包括消费者的年龄、家庭和拥有的交通工具等的。基于随机效用理论，MNL (Multinomial Logit Model)模型认为旅客将会选择个体最大的效用模型。根据上述建立模型：

其中， $X_{ink}$ ：表示旅客在方案体系中包含的各个特征变量。

$K$ ：特征变量的个数。

$X_{in} = [X_{in1}, X_{in2}, \dots, X_{inK}]'$  表示旅客选择方案的  $n$  的特征向量。

$\theta_k$ ：第  $K$  个变量所对应的未知参数。

特征变量遵循以下两个原则：

- (1) 变量之间相互独立，没有相关关系。
- (2) 变量能够准确的描述选择方案的特征。

根据假设设立模型表达式为：

$$V_{in} = \sum_{k=1}^k \theta_k x_{ink} = \theta_1 x_{in1} + \theta_2 x_{in2} + \dots + \theta_k x_{ink}$$

则此时的选择概率函数是：

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{e^{\mu V_{in}}}{\sum_{j=1}^{J_n} e^{\mu V_{jn}}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{J_n} e^{\mu(V_{jn} - V_{in})}} \\ &= \frac{1}{\sum_{j=1}^{J_n} \exp[\sum_{k=1}^k \mu \theta_k (X_{jnk} - X_{ink})]}, i \in J_n, n=1, \dots, N \end{aligned}$$

### 3. 旅客出行分析

通过数据统计我国在今年的航运和铁路等方面的数据可以明显发现我国的交通发展状况，我们以航运和高铁这两种方式进行简要分析与研究，探讨其旅客周转量变化和发展速率。

在这类分析中，为了是结果更加客观，利用 spss 绘图实现数据弹性变动的客观反映。通过对中国统计年鉴和中国交通信息网的数据，将我国旅客出行的交通方式选择进行分析绘图如下。

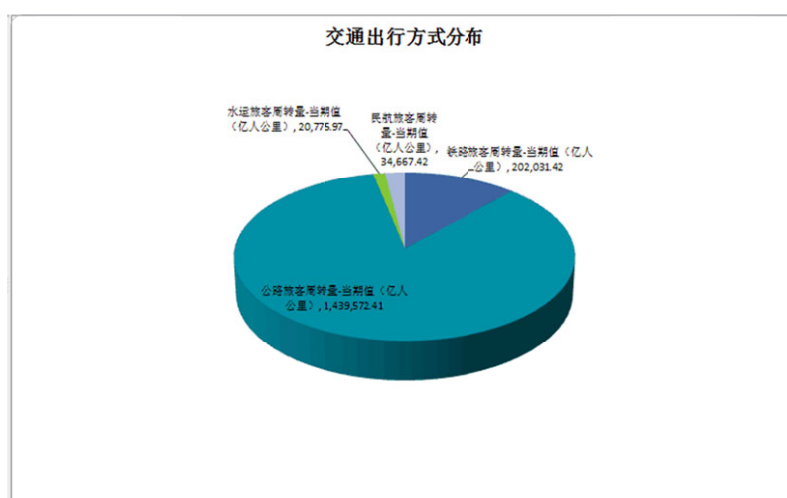


图 3-1 我国旅客出行的交通方式分布

通过图片可以发现，我国的交通出行当期的主要运输量仍然集中在公路，这主要是因为我国的交通出行里程仍然以短距离为主，随着我国的汽车普及率不断的提高。铁路凭借着中场距离高性价比占据相比民航占据较大的优势，但是高铁占我国铁路的运输量 20%的客流量，其实际值与民航的客流量接近，以下是两者的旅客周转量

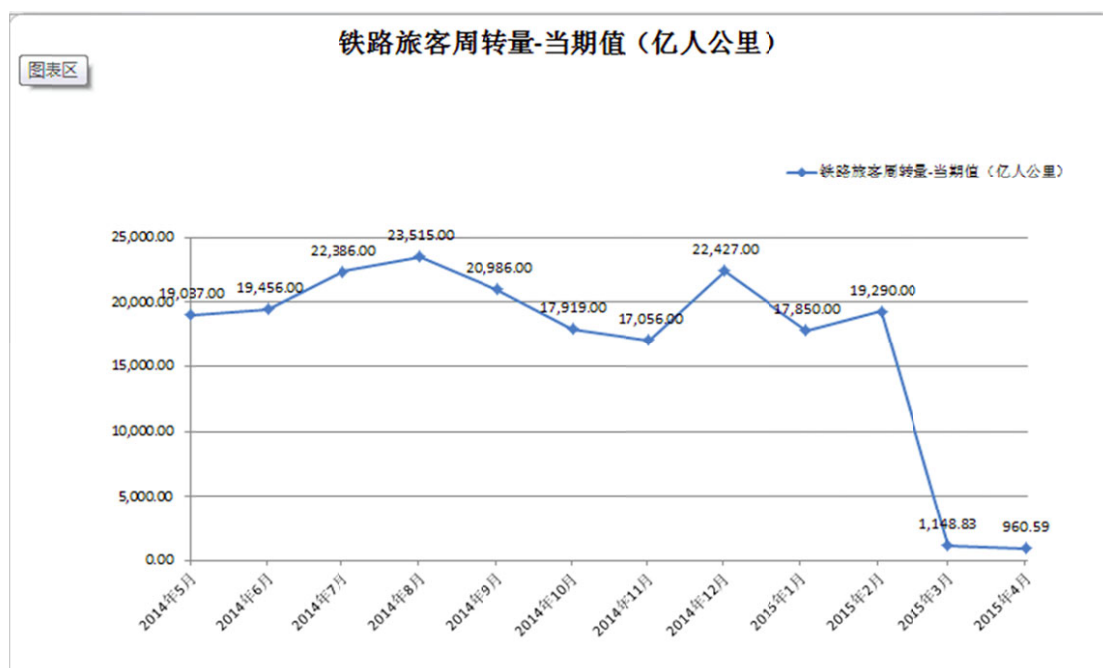


图 3-2 铁路旅客周转量

可以分析看出我国的铁路网具有很强的季节性和时间变动，其变动的浮率大，呈现不稳定的状态，旅客的周转量在某一时刻的价格弹性极低，主要是因为我国的旅客人数大，人口基数庞大。而民航应该抓住铁路旅客的溢出人群。以下是民航的旅客周转量。

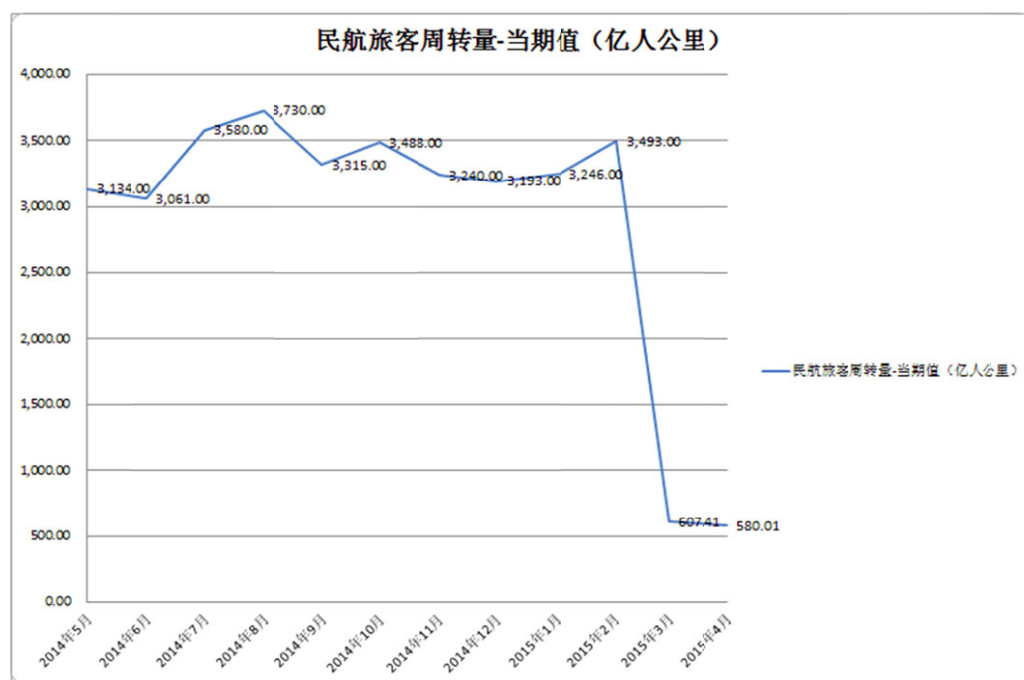


图 3-3 民航旅客周转量

通过数据绘图可以清晰的发现民航的旅客周转量与铁路具有相似的波动性，

都具有季节和时期的变动，说明其具有相同的目标消费人群。在特定时期，如何实现同时期的竞争，发挥自身优势成为民航发展的重要契机。根据旅客的周转率绘制以下对比图。

	2015 年 4 月	2015 年 3 月	2015 年 2 月	2015 年 1 月
旅客周转量-当期值（亿人公里）	2,510.79	2,019.43	210,160.00	172,607.00
旅客周转量-累计值（亿人公里）	10,543.16	8,032.38	371,766.00	172,607.00
旅客周转量-同比增长（%）	8.30	26.00	-0.30	-5.50
旅客周转量-累计增长（%）	6.50	5.90	-2.80	-5.50
铁路旅客周转量-当期值（亿人公里）	960.59	1,148.83	19,290.00	17,850.00
铁路旅客周转量-累计值（亿人公里）	3,966.81	3,006.22	37,139.00	17,850.00
铁路旅客周转量-同比增长（%）	8.10	33.00	0.80	1.30
铁路旅客周转量-累计增长（%）	4.50	3.40	1.00	1.30
公路旅客周转量-当期值（亿人公里）	963.99	1,157.42	176,259.00	150,028.00
公路旅客周转量-累计值（亿人公里）	4,236.28	3,272.30	326,287.00	150,028.00
公路旅客周转量-同比增长（%）	4.40	21.10	-0.70	-6.50
公路旅客周转量-累计增长（%）	4.30	4.30	-3.50	-6.50
水运旅客周转量-当期值（亿人公里）	6.20	5.77	2,118.00	1,483.00
水运旅客周转量-累计值（亿人公里）	21.67	15.47	3,601.00	1,483.00
水运旅客周转量-同比增长（%）	6.10	15.80	9.10	-1.60
水运旅客周转量-累计增长（%）	4.50	3.90	4.40	-1.60
民航旅客周转量-当期值（亿人公里）	580.01	607.41	3,493.00	3,246.00
民航旅客周转量-累计值（亿人公里）	2,318.40	1,738.39	6,739.00	3,246.00
民航旅客周转量-同比增长（%）	15.90	23.20	12.40	3.60
民航旅客周转量-累计增长（%）	14.50	14.00	7.90	3.60

表 3-1 旅客周转量对比（1）

2014 年 12 月	2014 年 11 月	2014 年 10 月	2014 年 9 月	2014 年 8 月	2014 年 7 月	2014 年 6 月
	167,727.00	190,469.00	187,586.00	194,218.00	191,995.00	178,852.00

	2,029,168.00	1,861,441.00	1,670,972.00	1,483,385.00	1,289,162.00	
2,206,656.00						1,097,166.00
	5.20	5.00	4.50	5.00	5.60	2.80
3.90	3.60	3.50	3.30	3.20	2.90	2.50
22,427.00	17,056.00	17,919.00	20,986.00	23,515.00	22,386.00	19,456.00
235,704.00	213,277.00	196,221.00	178,302.00	157,316.00	133,801.00	111,415.00
29.10	9.60	9.20	9.30	15.90	12.30	7.80
11.90	10.40	10.40	10.60	10.70	9.90	9.40
	145,429.00	166,485.00	160,898.00	164,096.00	163,463.00	153,972.00
1,905,359.00	1,755,301.00	1,609,872.00	1,443,387.00	1,282,589.00	1,118,393.00	
	4.50	4.40	3.70	3.30	4.50	2.10
2.80	2.60	2.50	2.20	2.10	1.90	1.50
	2,002.00	2,577.00	2,387.00	2,877.00	2,566.00	2,363.00
26,437.00	24,627.00	22,625.00	20,048.00	17,660.00	14,784.00	12,218.00
	8.90	12.40	14.60	20.30	15.10	8.20
12.30	12.50	12.80	12.90	12.60	11.20	10.50
3,193.00	3,240.00	3,488.00	3,315.00	3,730.00	3,580.00	3,061.00
39,166.00	35,963.00	32,723.00	29,235.00	25,919.00	22,183.00	18,604.00
14.30	13.60	10.20	8.70	7.40	9.60	6.80
10.60	10.30	10.00	10.00	10.10	10.60	10.70

表 3-2 旅客周转量对比（2）

根据数据绘制下表的周转率变动图

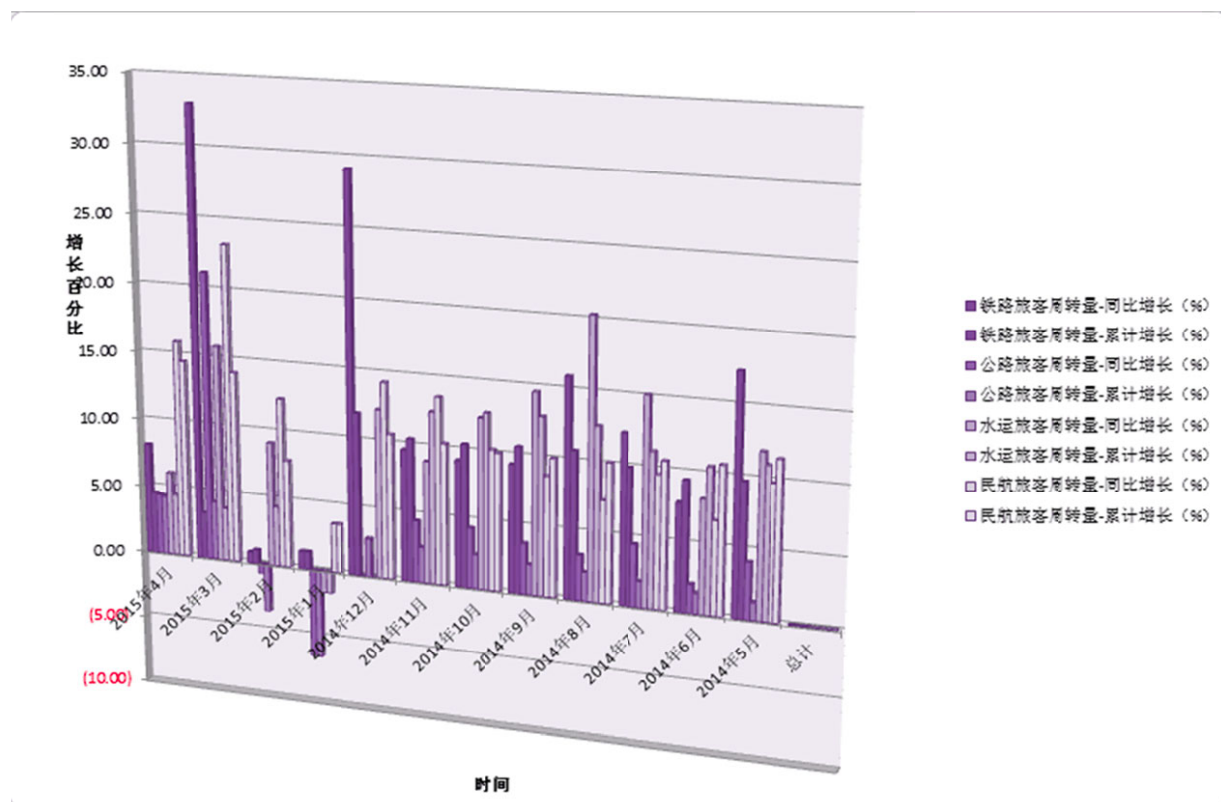


图 3-4 周转率变动图

## 4. 数据分析

为保证模型的准确性，在数据收集和分析之前首先做出五点假设：

- （1） 只参考经济效益、速度效益、舒适性三个因素对消费者选择的影响；
- （2） 消除时间序列给票价带来的影响，只考虑一般情况下出行费用；
- （3） 消费者总的选择偏好倾向程度为定值，即 100%；
- （4） 只考虑高铁和飞机的替代关系，且消费者总会在飞机和高铁两者中选择一个作为出行方式；
- （5） 不考虑消费者极端情况，即消费者在综合效用的结果下做出决定。

### 4.1 经济效益

经济效益主要是由票价体现，为消除票价的季节性波动，本文根据单位票价和运输距离计算经济效益，飞机单位票价参照国务院批准的《民航国内运价改革方案》确定国内机票价格基准价（2014 年新修订）为 0.81 元/人·km；高铁的

出行票价参照京津、武广、郑西、沪宁等几条相同设计时速且已通车运营的高铁票价定价标准计算为 0.47 元/km。为体现计算的准确性，运输距离参照国家铁路部和各大航空公司公示的数据。

4.2 速度效益

时间成本根据统计年鉴的年度人均 GDP 与年度人均工作时间的比值计算求得。2014 年我国人均 GDP 为 45380 元，全年工作时间按 2000 小时计（扣除法定节假日全年工作 250 天，每天按 8 小时工作制），则 2014 年的人均时间成本为 22.69 元/小时。

4.3 舒适性效益

舒适性效益由疲劳恢复时间来计算，设  $J$  表示极限疲劳恢复时间； $a$  为常量； $b_F$  为乘坐飞机的单位旅行时间的疲劳恢复时间系数， $b_G$  为乘坐高铁的单位旅行时间的疲劳恢复时间系数； $t$  为旅行时间； $\bar{T}$  为时间成本。根据研究可得各参数的取值分别为： $J=16$ ， $a=69$ ， $b_F=0.28$ ， $b_G=0.59$ 。由此可以求出不同旅行时间  $t$  下的旅行疲劳恢复时间。

4.4 数据计算

在全国范围内选择有高铁和飞机的城市，进行数据统计。为保证数据具有较强的代表性，选取的地点涵盖全国 17 个省市、直辖市。根据效用理论模型，从经济效应、速度效应和舒适度效应进行分析计算，计算得如下结果：

城市	飞机			高铁		
	$U_{ie}$	$U_{iv}$	$U_{ic}$	$U_{ie}$	$U_{iv}$	$U_{ic}$
南京-北京	793.8	49.2373	0.018273	480.81	99.1553	0.11303



南京-青岛	461.7	26.5473	0.013898	286.7	116.3997	0.162263
南京-上海	243	20.8748	0.012976	141	47.1952	0.033216
武汉-上海	663.39	34.035	0.015215	413.6	110.5003	0.143897
武汉-北京	854.55	47.1952	0.01783	575.75	116.1728	0.161527
武汉-青岛	873.99	39.7075	0.016293	535.8	187.8732	0.463366
无锡-重庆	1053	45.38	0.017445	799	265.9268	0.659794
无锡-宁波	220.32	37.8923	0.01594	124.55	204.21	0.52573
无锡-成都	1296	58.5402	0.020432	926.84	320.6097	0.693536
郑州-北京	562.95	32.2198	0.014885	328.53	57.1788	0.042468
郑州-上海	673.11	35.8502	0.015552	596.9	175.3937	0.409556
郑州-广州	937.98	49.2373	0.018273	754.35	147.9388	0.285078
深圳-厦门	376.65	24.5052	0.013559	224.66	85.0875	0.082452
深圳-北京	1573.02	66.2548	0.022407	1073.01	237.5643	0.616665
深圳-上海	981.72	96.4325	0.032058	850.7	284.0788	0.676105
常州-北京	909.63	43.5648	0.017068	527.81	112.7693	0.150772
常州-西安	990.63	45.38	0.017445	631.68	208.2942	0.539553
常州-哈尔滨	1939.95	58.5402	0.020432	1125.65	252.5397	0.642636
重庆-北京	1215	60.5823	0.020938	947.05	278.6332	0.671916
重庆-合肥	1210.14	45.38	0.017445	739.31	193.9995	0.487996

表 4-1 分析计算结果

## 4.5 函数拟合

根据上表可以看出不同路线的效用函数出现明显差异,将三种效用值分别带入综合效用函数,即可得到考虑消费者不同消费倾向的不同路段的综合效用函数。

用 MATLAB 画出不同消费者队在同一路段乘坐飞机和高铁时综合效用的函数图,以“武汉-上海”、“常州-北京”、“无锡-重庆”、“郑州-北京”、“深圳-厦门”、“南京-北京”这六段路程为例,得到如下结果:

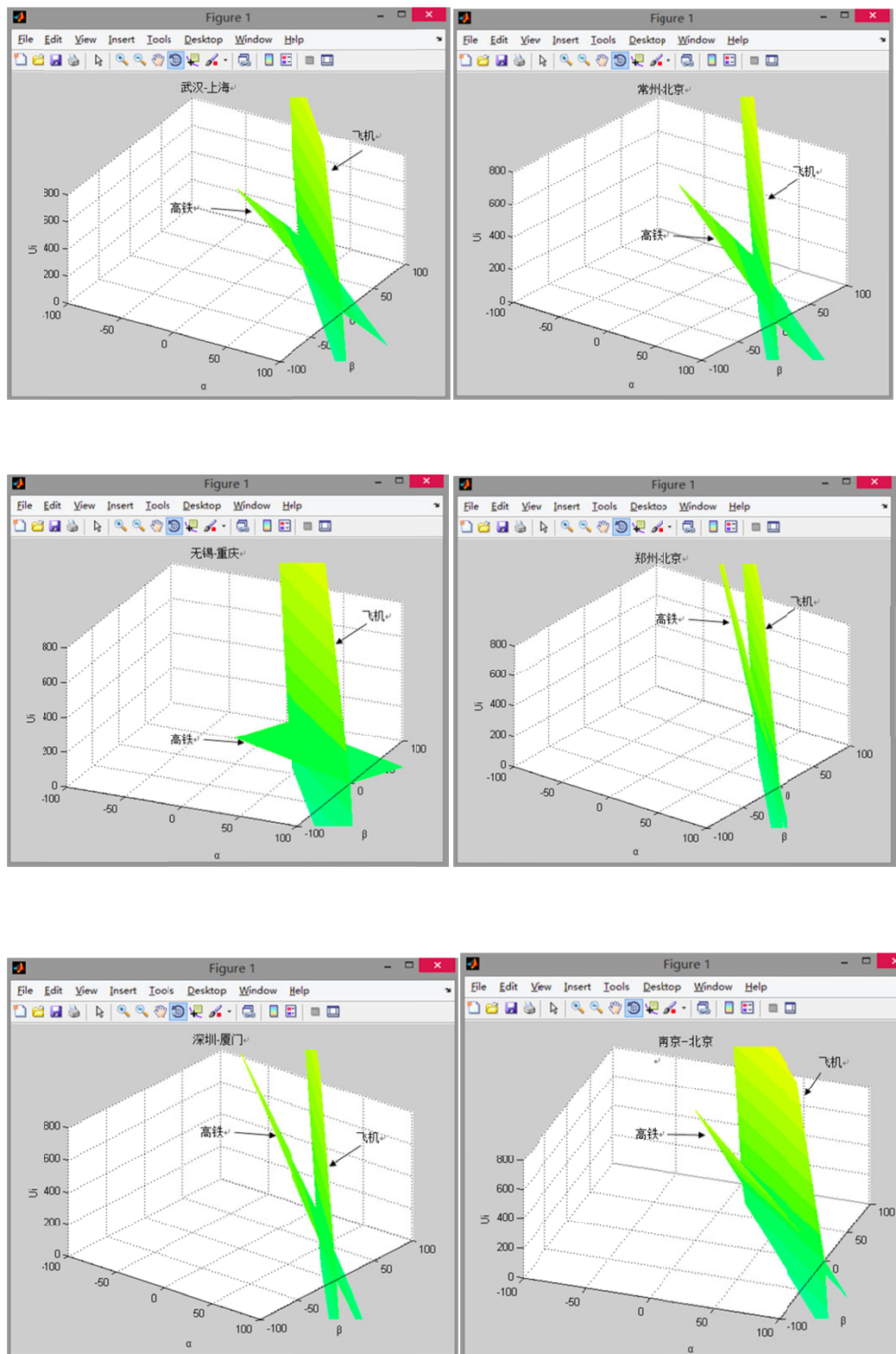


图 4-1 段乘坐飞机和高铁时综合效用的函数图

#### 4.5.1、出行方式的差异性

根据函数图，我们可以看出对于同一消费者，不同路段的综合效用函数呈现

出明显差异,即对于消费者来说,不同的出行方式具有差异,消费者会根据差异选择综合效应值较高的出行方式。

首先,由于不考虑极端情况,我们可以认为消费者会同时兼顾三个效用进行选择,即综合效用函数中的效用系数都为正值,因此对于消费者而言飞机和高铁总会存在差异,其综合效用曲面不会平行。

其次,考虑到不同路段的飞机和高铁在时间、费用和疲劳恢复度上总有差异,出现各效用函数相同或完全成比例的情况概率比较小,所以在该模型中可以合理判定不会出现效用值相同的情况,已两个曲面不会完全重合。

最后,两种出行方式并不是一者永远优于另一者,对于不同的消费者,消费倾向不同,则综合函数效用值不同。表现在图形上,即两平面并不是一个永远在另一个上方, $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\lambda$ 的取值不同,则综合函数值不同,因此对于不同消费者,两种出行方式存在差异。

由图中可以看出,相同的出行路段,两个总效用函数的曲面总有交线,则对于消费者来说,在该交线上选择高铁和飞机并无差异,可以相互替代。子啊两曲面上交线外的区域,总会由于消费者偏好不同,即 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\lambda$ 值的不同而出现一个选择优于另一个的情况,正常情况下,消费者会选择综合效用值高的出行方式,当飞机的总效用值大于高铁的总效用值,则消费者会选择乘坐飞机;反之,消费者则会乘坐高铁。

#### 4.5.2、出行方式的替代效应

根模型的差异性和图形观察,两平面总会相交于一条直线,从函数上来讲,该直线上,飞机和高铁的效用函数值相同。

由于假定消费者根据效用函数的值决定出行方式,则当效用函数值相同时,对于同一消费者来说,两种出行方式不存在差异,即此时出现了出行方式的替代效应。

比较上面六幅图,可以看出两平面的夹角不同,根据空间几何相关知识可知,两平面间夹角越小,则两平面重合可能性越大,在该模型中,平面夹角越小,则两种出行方式的替代效应越大。

同时,由于夹角的大小和相交直线位置的不同,效用系数的取值范围也不同,在模型中,即对于不同路段,同一消费者在效用倾向不变的情况下,会选择

不同的出行方式，而不是忠于同一种出行方式。

## 结论和建议

随着我国高速铁路建设技术的不断进步和高铁建设的不断推进，高铁对我国其他航运业的影响加深，如何妥善高铁以及航空运输业的发展必将成为我国重要社会议题。

### 航空运输

#### (一) 科学化管理，低成本运输

作为为用户提供客货邮空间位移服务的航空业，在面对外界环境的急遽变化时，应当改变战略，加强成本管理，建立先进的管理机制，通过企业内部创新来解决发展中的问题，以创造更高的客户价值。与铁路运输相比，航空运输易受恶劣天气和流量控制等不可控因素的影响，造成航班大面积延误，不仅影响旅客的行程，也会增加航空公司成本。为了提高正点率，航空公司必须实行精细化管理，通过科学安排航班，合理调配飞机和机组，提高机务保障质量等措施，最大限度减少延误率。这既是提高航空运输的便捷程度的重要途径之一，也是降低航空公司运营成本的一个重要方面。

#### 1、扬长避短，发挥远程运输优势

航空运输方式在远程运输及国际运输中所占的垄断份额是高铁无法企及的。据统计，2008年我国交通运输客运平均运程为97.8 km，其中铁路为532 km，公路为57.3 km，水运为31.2 km，民航为1517 km。按运输总周转量计算，目前我国民航运输国际航线约占34%，国际客运基本上由民航承担。因此，国有航空公司应该抓住当前优势，积极发展长距离运输市场。停飞500公里以下短距离航班，撤离短距离客流量小的市场。我国幅员辽阔，发展远程运输比较有优势，但是目前远距离航班票价高昂的同时利润较少，为了改变这种现状，严格控制成本就显得十分重要。

#### 2、在高铁未覆盖地区加快发展航空运输业

目前，我国的高速铁路基本覆盖了我国东部经济发达地区，但对于中西部地

区建设较少。我国中西部地区面积较大，资源丰富，我国中央决定大力开发中西部地区，振兴东北工业基地。因此，中西部地区的交通运输业具有较大的发展潜力。这也给航空运输业带来了潜力。

## (二)加快建设交通枢纽

1、旅客运输的竞争力在于交通便捷性，高铁开通后，民航在这方面就一直处于劣势，但如果民航能有一个完善的交通枢纽，情况就会得到改善。要构建交通枢纽，就必须完成以下工作：

- (1) 要实现网络内的“一票到底”。所谓“一票到底”就是在任意一个机场都可以实现一次性购票，旅客可以到达任意一个想去的目的地。“一票到底”可以实现中途转机的便利，使得航空可以吸引很多中转旅客。
- (2) 转机时间不能超过一个小时。一旦超过一个小时，乘客就会产生反感情绪，转机便利效用就为负。缩短转机时间可以提高飞机的利用率，增加效益。
- (3) 枢纽机场要实现与城市地面交通的有效衔接。应该充分利用城市地面交通发挥综合运输的优势，缩短基地城市旅客进出机场的时间。

## 3、给予法律或政策上的支持

为了应对来自高速铁路的冲击，中国民用航空局于2009年初组建了“高速铁路对民航发展的影响及政策建议”调研组，为确保民航运输平稳持续的增长态势，深入分析高铁对民航产生的可能影响。但该调研组负责人也坦承民航与铁路合作开展空铁联运的建议，在短期内并无实现可能。其深层原因在于，目前我国铁路、航空、公路分属不同政府部门管理，各部门之间的协调不畅使得综合交通体系在规划和建设中出现障碍。这就需要政府部门充分重视，发挥积极作用协调解决。如这种多式联运的规划得以顺利实现，高速铁路、高速公路和航空枢纽港的大连接，将起到乘方效应，必将加速中国经济的一体化进程，实现和谐共赢。

## 铁路运输

### (一) 积极开展短途竞争

在上面的论述中可以看出，高铁无论在票价还是运行时间上都具有很明显的优势。所以对于铁路运输而言，可以多开展短线竞争。铁路部门可以多开发短距离的铁路线，加大列车运行密度。

### (二) 尽量满足旅客旅行需求，提高列车舒适度

为满足旅客多样性的需求，应该多开发多样化精品列车，这是为满足不同旅客的不同需求而设计的。首先，要采取严格的措施以防止超载的行为，一定要保证旅客舒适度；其次，要对车厢进行改进，尽量多留给旅客活动的空间，改善卫生环境，设置移动窗户，以免列车发生故障而导致车内空气不流通；最后，要开发新型列车，并要以提高旅客舒适度为基础。

## 参考文献

- [1]巩慧琴. 高铁时代下旅客交通工具选择行为研究[D]. 辽宁师范大学, 2012.
- [2]王容. 需求不确定性下移动通信消费者行为研究[D]. 电子科技大学, 2011.
- [3]力莎. 南京市居民高铁出游空间行为研究[D]. 南京师范大学, 2014.
- [4]熊巍. 浅析高速铁路对我国航空运输市场的影响及对策[J]. 淮海工学院学报 (社会科学版). 2009(S1)
- [5]丁金学, 金凤君, 王姣娥, 刘东. 高铁与民航的竞争博弈及其空间效应——以京沪高铁为例[J]. 经济地理. 2013.5
- [6]李雪飞. 基于扩展 Logit 的交通分配模型与算法研究[D]. 北京交通大学, 2014.9
- [7]郭寒英. 基于出行出行者心理的城市客运交通出行行为研究[D]. 西南交通大学, 2007
- [8]杨超, 蒲琪, 涂颖菲. 交通需求组合不确定性分析[J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2010.1
- [9]王伟. 基于有限理性对的出行行为建模与均衡分析[D]. 北京交通大学, 2014.9
- [10]Hill, M.R. Spatial Structure and Decision-Making of Pedestrian Route Selection Through An Urban Environment, 1982
- [11]中华人民共和国国家统计局. <http://www.stats.gov.cn/>, 检索时间: 2015.6.11
- [12]Helbing, D. Traffic Dynamics: New Physical Modeling Concepts. 1997.
- [13]中国交通统计信息网. <http://www.jttj.gov.cn/>, 检索时间: 2015.6.12
- [14]王迎. 基于活动的城市居民出行方式选择模型研究[D]. 长安大学. 2007.5
- [15]王峰林. 我国高速铁路对民航运营的影响分析[D]. 北京交通大学. 2010.6

附录：

附：MATLAB 画图程序

```
t=0:0.08:100;
```

```
[x,y]=meshgrid(t,t);
```

```
z=(x/527.81)+(y/112.7693)+((100-x-y)/ 0.150772);
```

```
mesh(x,y,z)
```

```
hold on
```

```
axis([-100,100,-100,100, 0,800])
```

```
xlabel('α'),ylabel('β'),zlabel('Ui')  

```