

分类号: U49

密 级: 公 开

U D C:

单位代码: 10424

学 位 论 文

高速公路出行者路径选择行为分析

宋玲玲

申请学位级别: 硕士学位 专业名称: 交通运输规划与管理

指导教师姓名: 吴守荣 职 称: 教 授

山 东 科 技 大 学

二〇〇九年五月

论文题目：

高速公路出行者路径选择行为分析

作者姓名 宋玲玲

入学时间：2006 年 9 月

专业名称：交通运输规划与管理

研究方向：城市交通规划与管理

指导教师：吴守荣

职 称：教 授

论文提交日期：2009 年 5 月

论文答辩日期：2009 年 6 月

授予学位日期：

**STUDY ON THE HIGHWAY-TRAVELER ROUTE
CHOICE BEHAVIOR ANALYSIS**

A Dissertation submitted in fulfillment of the requirements of the degree of

MASTER OF PHILOSOPHY

from

Shandong University of Science and Technology

by

Song Lingling

Supervisor: Professor Wu Shourong

College of Information and Electrical Engineering

May 2009

声 明

本人呈交给山东科技大学的这篇硕士学位论文，除了所列参考文献和世所公认的文献外，全部是本人在导师指导下的研究成果。该论文资料尚没有呈交于其它任何学术机关作鉴定。

硕士生签名：

日 期：

AFFIRMATION

I declare that this dissertation, submitted in fulfillment of the requirements for the award of Master of Philosophy in Shandong University of Science and Technology, is wholly my own work unless referenced or acknowledge. The document has not been submitted for qualification at any other academic institute.

Signature:

Date:

摘 要

随着我国高速公路的快速发展，高速公路作为现代化交通基础设施，以其通行能力大、行车速度快、舒适安全、方便快捷等显著特点，成为适应现代产业结构发展需要的骨干运输方式和重要运输通道。随着高速公路里程的不断延伸，高速公路网不断完善，路网上的二义性路径间的距离差别逐步减小，车辆行驶出现多种路径的选择，由此产生了出行者路径选择的问题。

自上世纪60年代以来，许多学者致力于出行者路径选择行为理论的研究。近十几年来，结合了经济学、社会学、心理学和人类学等多学科而发展起来的人的行为分析理论越来越受到众多学者的关注，并将这些理论应用于其他学科，取得了巨大的成果。交通出行者是交通出行的主体，深入分析高速公路出行者的路径选择行为，对揭示高速公路出行机理，引导交通政策的制定有非常重要的意义。

本论文运用交通调查和案例分析相结合的方法，研究高速公路出行者的出行路径选择行为。首先，分析了出行者在选择高速公路出行时，受到的道路、经济、时间以及出行者本身特征等方面的因素；其次，从出行者的心理角度出发，对高速公路出行者的出行行为做了进一步的研究，以了解出行者对路径选择的心理行为；再次，以出行者的主观因素以及客观因素为依据，分析了出行者在高速公路出行过程中的决策。最后，根据现场的调查，并结合以上理论知识，分析了调查数据。根据调查结果，以及专家的评测，确定出行者偏好的权重，运用层次分析法和灰色系统理论，结合案例，求解出用户最优出行路径。

关键词：高速公路，出行心理，出行决策，路径选择

ABSTRACT

With the rapid development of highway in china, as modernized traffic infrastructure construction, the highway has the notable characteristic: big traffic capacity, fast speed, comfort and safety, convenient and so on. And it becomes the shaft transportation mode and the important transportation channel, adapting to the requirement of modern industry structure. With the highway mileage constant extension and highway net continuously perfect, the distance difference among roads diminishes step by step, vehicle driving turns up many choice of paths, thus, the problem of paths selection appears.

Since the 60s of last century, many scholars are committed to the path of travel choice behavior research. Over the last decade, the theory of behavior analysis combining of economics, sociology, psychology and anthropology and other disciplines has been gaining the attention of many scholars, and these theories applied to other disciplines, has been gaining tremendous results. Travelers is the main body of Travel, Travel analysis of the route choice behavior, revealing the mechanism of transport trips, and guiding the formulation of transport policy ,has a very important significance.

Combining with the traffic survey and case study, this paper researched on highway travel traveler route choice behavior. First of all, analysis the factors of the highway: economic, time and travel characteristics when travel by road in their choice of travel; Secondly, from the psychological point of the traveler, the traveler, studding further to the highway traveler behavior, to understand the mental acts of travel choices on the path; once again, based on as well as the subjective factors as the basis of objective factors of travelers, analysis of the decision-making of travel on the highway traveler in the process. Finally, according to the scene survey, combined with above theoretical knowledge, this paper analyzed the survey data. According to the survey, as well as expert evaluation to determine the traveler's preference weight; using the method of Analytic Hierarchy Process and Gray System Theory, combined with the case, solving of the optimal path of the user.

Key words: highway, travel psychology, trip decision, route choice

目 录

1	绪论.....	1
1.1	研究背景.....	1
1.2	国内外高速公路发展概况.....	2
1.3	选题的意义.....	7
1.4	研究的主要内容.....	8
2	高速公路出行路径选择的影响因素.....	9
2.1	道路因素.....	9
2.2	出行费用因素.....	10
2.3	时间因素.....	13
2.4	服务水平.....	14
2.5	出行者特征.....	15
3	高速公路出行者心理行为研究.....	17
3.1	出行选择行为理论研究体系.....	17
3.2	高速公路出行者心理解析.....	20
3.3	高速公路出行的行为过程.....	25
4	高速公路出行者路径选择行为决策分析.....	30
4.1	决策分析的基本理论.....	30
4.2	高速公路出行选择行为决策分析.....	35
5	高速公路出行路径选择行为调查及模型分析.....	42
5.1	高速公路出行行为调查-SP 调查.....	42
5.2	调查方案的设计.....	44
5.3	SP 调查的方法.....	45
5.4	SP 调查方法的主要特征.....	46
5.5	高速公路出行路径选择行为调查表设计.....	46
5.6	调查说明.....	48
5.7	调查数据分析.....	49
5.8	层次分析法和灰色系统理论基础知识.....	53

5.9 高速公路路径选择行为案例分析.....	58
6 结论和展望.....	67
6.1 结论.....	67
6.2 进一步研究设想.....	68
致 谢.....	69
攻读硕士期间发表的论文及科研成果.....	70
参考文献.....	71

Contents

1	Introduction.....	1
1.1	Research Background.....	1
1.2	The development of highway at home and abroad.....	2
1.3	The significance of the subject selection	7
1.4	Main contents.....	8
2	The influnce factors of highway in selecting travel paths.....	9
2.1	Road conditions.....	9
2.2	The cost of travel factors.....	10
2.3	Time factors.....	13
2.4	Service level.....	14
2.5	The characteristics of travelers.....	15
3	The reasurch in psycological behavior of highway travelers.....	17
3.1	The reasurch system of the trip behavior.....	17
3.2	The analysis of highway travelers'psycological.....	20
3.3	The process of highway travel behavior.....	25
4	The decision analysis of highway travelers'behavior of route selection.....	30
4.1	The basic theory of decision analysis.....	30
4.2	The decision analysis of highway travel selection behavior.....	35
5	The survey and the model analysis of highway route selection behavior.....	42
5.1	The survey of the behavior of highway travel.....	42
5.2	The design of survey scheme.....	44
5.3	The method of SP survey.....	45
5.4	The characteristic of the survey method.....	46
5.5	The plan of the questionnaire of highwya route selection behavior.....	46
5.6	The investigation shows.....	48
5.7	The illustration of the investigation data.....	49
5.8	The basic theory of Analytic Hierarchy Process and Gray System Theory.....	53
5.9	The case analysis of route selection behavior in highway.....	58

6 Conclusions and Prospects.....	67
6.1 Conclusions.....	67
6.2 Further assumption.....	68
<u>Acknowledgement.....</u>	69
<u>Essays and Scientific Reasearch.....</u>	70
<u>References.....</u>	71

1 绪论

1.1 研究背景

随着世界经济与技术的发展, 交通运输已经成为生活中的重要方面, 并对保证社会经济体系的正常运转发挥着越来越大的作用。交通运输业作为国民经济的基础产业部门, 是一个国家政治、经济和文化等一切社会活动赖以顺利进行的基础, 交通运输的发达程度是衡量一个国家社会经济发展所处阶段和现代化程度的一个重要指标。高速公路作为现代化的交通运输基础设施, 以其交通流量大、行车速度快、运行舒适安全等特点和优势, 已成为适合现代产业结构发展需求的重要运输方式。近十多年来, 我国高速公路建设速度和发展水平取得了令人瞩目的成就, 已达到世界先进水平。

世界上各国高速公路的发展, 大多以人口集中、工商业发达、汽车数量多的城市外环和辐射路线以及城际交通量较大的路段开始, 由点串线、由线带面, 最终形成一个国家或地区的高速公路网。由于交通需求的日益增加, 我们国家的高速公路网络不断完善, 高速公路从原来的树状结构逐步衍化为网状结构, 路网形成环状时, 出现了在两个出入口之间有多条可选行驶路径—即“多义性路段”现象。从而导致高速公路出行者的出行目标多元化, 出行者会结合具体的情况选择不同的行驶路径, 导致车辆出行存在着多种可能性。近年来, 高速公路交通量的不断增加, 将影响出行时间, 最短路径在交通量达到一定程度不再是最快捷的路径; 交通网络密度不断增大, 两站点间的多路径距离差别逐步减小^[1]。因此根据交通出行路径选择规律, 多路径出行比例将会明显增加。

当人们选择高速公路出行时, 由于高速公路的多义路径现象, 人们必然要面临路径的选择。因为个体在出行时, 道路因素、个体行为、出行心理、选择偏好、出行目的、优化策略等方面的差异, 从而人们对路径选择的标准也不尽相同, 选择属性的相关重要性也各不相同^[2,3]。试验表明大多数人并不一定选择最短路径, 而选择了基于各种因素的最优路径^[4-7]。

最短路径一般表示时间最短或出行距离最短路径。在实际高速公路出行中, 绝对的单目标最短路径往往不是用户愿意选择的出行路径。此外, 出行者对于路径选择的行为特征较复杂, 不同出行者选择最优路径的标准不是固定不变的。从出行者角度考虑, 理想最优路径的确定过程应综合考虑各主要出行影响因素并充分体现用户的主动性, 既所

谓的次优路径^[8-12]。

1.2 国内外高速公路发展概况

1.2.1 我国高速公路发展现状及目标方案

1.2.1.1 我国高速公路发展现状

与西方发达国家相比，中国高速公路建设起步较晚。改革开放以来，中国国民经济的发展对公路运输的要求越来越高，国家对公路进行了大规模的资金投入，公路建设特别是高速公路建设后来居上，发展速度大大超过了铁路和其他运输方式。1988 年上海至嘉定高速公路建成通车，结束了我国大陆没有高速公路的历史；1990 年，被誉为“神州第一路”的沈大高速公路全线建成通车，标志着我国高速公路发展进入了一个新的时代；1993 年京津塘高速公路的建成，使我国拥有了第一条利用世界银行贷款建设的、跨省市的高速公路。为了集中力量、突出重点，加快我国高速公路的发展，1992 年，交通部制定了“五纵七横”国道主干线规划并付诸实施，从而为我国高速公路持续、快速、健康发展奠定了基础。到 1997 年年底，我国高速公路通车里程达到 4771 公里，10 年间年均增长 477 公里。从 1998 年至今，高速公路建设进入了快速发展时期，年均通车里程超过 4000 公里，年均完成投资 1400 亿元。1999 年，全国高速公路里程突破 1 万公里；2000 年，国道主干线京沈、京沪高速公路建成通车，在我国华北、东北、华东之间形成了快速、安全、畅通的公路运输通道；2001 年，有“西南动脉”之称的西南公路出海通道经过 10 多年的艰苦建设实现了全线贯通，西部地区从此与大海不再遥远。2002 年年底，我国高速公路通车里程一举突破 2.5 万公里，位居世界第二位，2004 年年底超过 3 万公里。除西藏外，各省、自治区和直辖市都已拥有高速公路，有 16 个省份的高速公路里程超过 1000 公里。截止到 2008 年底，我国高速公路通车里程已经达到 6.03 万公里（如图 1.1 所示）。辽宁省和山东省已实现了省会到地市全部由高速公路连接，长江三角洲、珠江三角洲、环渤海等经济发达地区的高速公路网络也正在形成。

随着高速公路里程的不断延伸，高速公路网的不断完善，人们切身感受到高速公路带来的时间、空间观念的变化，在山东、辽宁、广东、江苏等地，省会到地市当天可以往返。高速公路的速度和便利已经走进了平常百姓的生活，正在改变着人们的时空观念和生活方式，为人们的出行创造了良好的条件^[13]。

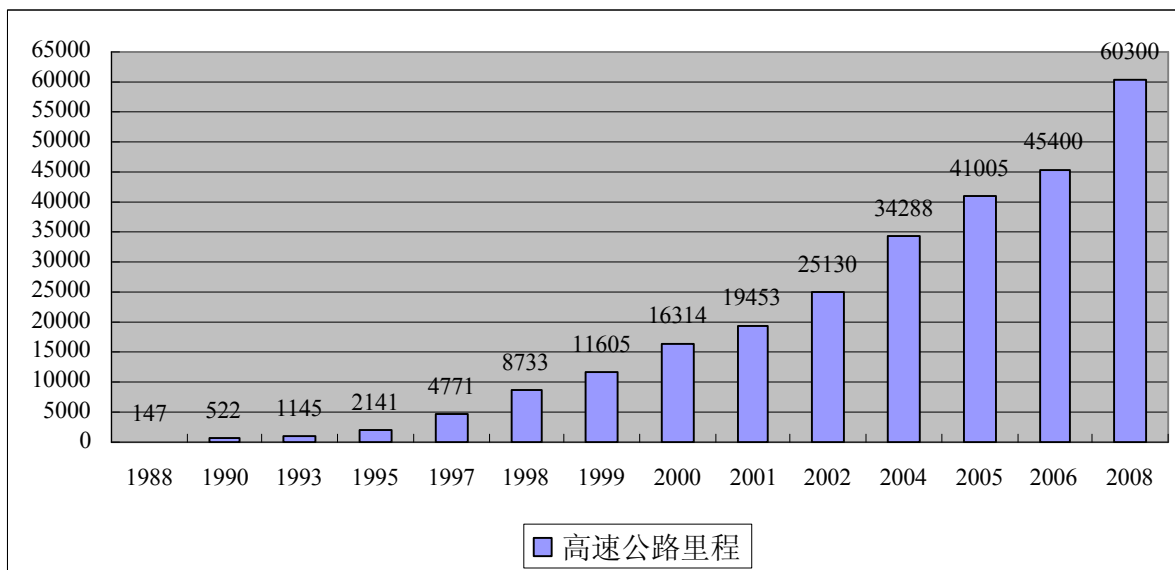


图 1.1 我国高速公路里程

Fig.1.1 Chinese express highway mileage

1.2.1.2 我国高速公路规划目标及方案

(1) 国家高速公路网规划目标

国家高速公路网的规划目标是：连接所有目前城镇人口超过20万的城市，形成高效运输网络。

1) 连接省会城市，形成国家安全保障网络

满足国家稳定、国防安全和抢险救灾需要，提高军事机动性，形成首都便捷连接省会、沟通各大战区的国家安全保障网络。

2) 连接各大经济区，形成省际高速公路网络

支撑经济增长，适应产业布局，协调区域发展，形成各大经济区之间、相邻省会城市之间的省际高速公路网络，强化西部地区、东北等老工业基地对外联系通道。实现800-1000公里以内相邻省会城市之间当日到达。

3) 连接大中城市，形成城际高速公路网络

促进区域经济发展，推动城镇化进程，满足旅游需要，形成省会连接地市、覆盖重要县市和重要旅游城市以及环渤海、长江三角洲、珠江三角洲三大区域内城际高速公路网络。基本实现省会到地市东中部地区当日往返，西部地区当日到达。

4) 连接周边国家，形成国际高速公路通道

适应经济全球化和对外开放需要，形成连接周边国家、与亚洲公路网相配合的国际高速公路通道。

5) 连接交通枢纽, 形成高速集疏运公路网络

满足现代物流发展, 提高运输效率, 保障有效衔接, 形成连接主要公路枢纽、港口、机场、铁路枢纽的高速集疏运公路系统。

到2010年, 国家高速公路网总体上实现“东网、中联、西通”的目标。东部地区基本形成高速公路网, 长江三角洲、珠江三角洲、环渤海地区形成较完善的城际高速公路网络; 中部地区实现承东启西、连南接北, 东北与华北、东北地区内部的连接更加便捷; 西部地区实现内引外联、通江达海, 建成西部开发八条省际公路通道。

(2) 路线方案

国家高速公路网采用放射线与纵横网格相结合布局方案, 由7条首都放射线、9条南北纵线和18条东西横线组成, 简称为“7918”网, 总规模约8.5万公里, 其中主线6.8万公里, 地区环线、联络线等其它路线约1.7万公里^[4] (见图1.2所示)。具体路线是:

1) 首都放射线

7条: 北京—上海、北京—台北、北京—港澳、北京—昆明、北京—拉萨、北京—乌鲁木齐、北京—哈尔滨

2) 南北纵线

9条: 鹤岗—大连、沈阳—海口、长春—深圳、济南—广州、大庆—广州、二连浩特—广州、包头—茂名、兰州—海口、重庆—昆明

3) 东西横线

18条: 绥芬河—满洲里、珲春—乌兰浩特、丹东—锡林浩特、荣成—乌海、青岛—银川、青岛—兰州、连云港—霍尔果斯、南京—洛阳、上海—西安、上海—成都、上海—重庆、杭州—瑞丽、上海—昆明、福州—银川、泉州—南宁、厦门—成都、汕头—昆明、广州—昆明

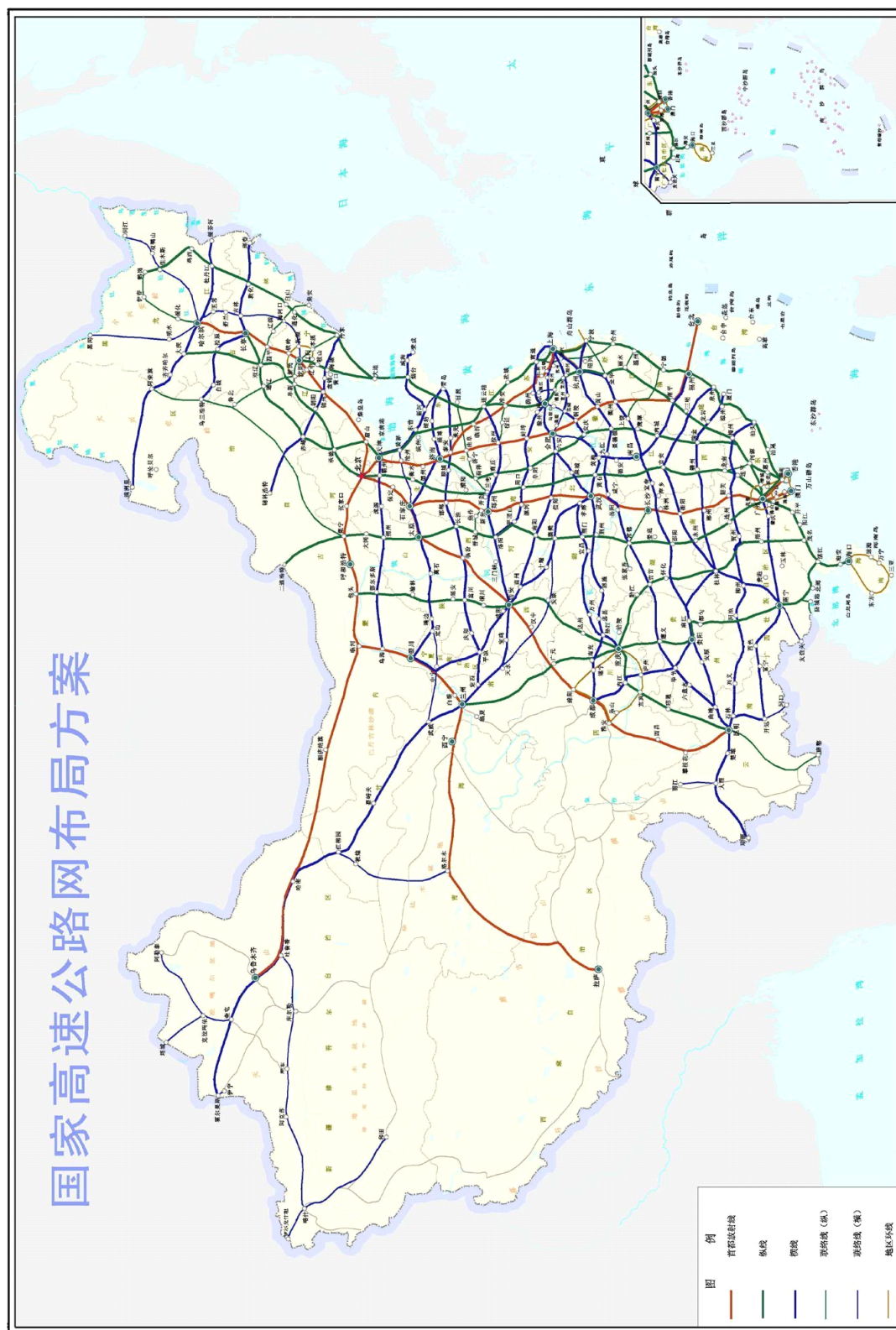


图 1.2 国家高速公路网布局方案

Fig.1.2 National highway network layout program

1.2.2 国外高速公路的发展概况

最早的高速公路出现在 20 世纪 30 年代的德国、意大利、美国等西方发达资本主义国家。第二次世界大战后，出于战后重建和发展经济的需要，西方工业发达国家掀起了修建高速公路的热潮。20 世纪中后期，一些发展中国家在实现现代化的过程中，也把修建高速公路作为一项重要措施。到 2003 年底，全世界已有 80 多个国家和地区拥有高速公路，世界上高速公路通车里程超过了 20 万公里，美国、日本、德国、加拿大等发达国家已经构筑了与本国经济和社会发展相适应的高速公路网^[14]。

美国是世界上拥有高速公路最多、路网最发达的国家，这与美国政府的重视和支持是分不开的。美国第一条高速公路于 1937 年在加州建成，总长仅 11.2 公里。1944 年美国制定了修建近 7 万公里的州际和国防高速公路网的 13 年规划，高速公路通车里程迅速增长，到 1997 年已修建了 8.85 万公里高速公路，占世界高速公路总里程的一半，形成了横贯东西、纵贯南北的高速公路主骨架，占公路网总里程 1%的州际高速公路承担着全美 25%左右的交通运输量。

加拿大是仅次于美国拥有高速公路最多的西方国家，虽然加拿大直到 1967 年才开始修建高速公路，但发展速度很快，截止 1997 年底，已建成高速公路 1.9 万公里，高速公路通车里程占公路网总长度的 1.9%。

德国是修建高速公路最早的国家，第二次世界大战前已有 3440 公里高速公路，从 1933 年至 1939 年平均每年修建 582 公里高速公路，到 1997 年高速公路通车里程已达 1.12 万公里，5 万人以上的城市全部通高速公路，5 万人以下的城市 90%都通高速公路，构成了欧洲最庞大的高速公路网。

法国高速公路建设起步于 1948 年，到 1997 年已建成高速公路 9140 公里，仅次于德国名列欧洲第二位。1994 年法国制定了 15 年的高速公路建设计划，1995 年至 2010 年将新建高速公路 4300 公里，高速公路总里程达 1.2 万公里。

意大利是修建高速公路较早的国家之一，但真正大规模修建高速公路还是在 1956 至 1970 年的道路建设计划制定之后，到 1997 年，意大利已建成通车的高速公路里程达 8860 公里。

英国从 1958 年开始修建高速公路，但建设速度和规模远远落后于美国、加拿大、德国、法国和意大利，其主要原因是缺乏建设资金。由于在 1955 年废除了汽油税和燃油税制度，仅以一般年度财政拨款为资金渠道，致使高速公路建设缺乏资金保证，到 1997

年底，英国高速公路通车里程仅为 3200 公里。

日本高速公路起步较晚，但发展速度很快。1956 年日本颁布了《道路公团法》，1965 年 7 月建成第一条高速公路—名(名古屋)神(神户)高速公路，到 1997 年高速公路通车里程达 5860 公里，初步形成以东京为中心、纵贯南北的高速公路网。日本计划到 2015 年建成 14000 公里高速公路，强化东京、名古屋和阪神环形和绕行高速公路，建成在出现灾害时可以替代其他运输方式的高速公路网。

表 1.1 为中国与其他国家高速公路情况比较分析表。

表 1.1 中国与其他国家高速公路情况比较分析表

Table1.1 comparative analysis of the highway condition of china and other countries

国家	高速公路总里程（万公里）	国土面积（公里/千平方公里）	高速公路密度（公里/千平方公里）	人口数量（亿人）	人均占有高速公路（公里/万人）
美国	8.97	9385	9.55	3	2.99
中国	6.03	9600	5.28	13	0.46
加拿大	1.65	9970	1.65	0.32	5.15
德国	1.10	357	30.81	0.88	1.25
法国	1.00	551	18.15	0.62	1.61
日本	0.70	378	18.52	1.27	0.55

注：中国高速公路里程数据截止到 2008 年底，其他国家为 2002 年

1.3 选题的意义

在经济快速发展的今天，高速公路越来越受世界所关注，一些以美国为首的发达国家，已经建立了四通八达的高速公路网络。高速公路不但支撑经济发展、推动社会进步、保障国家安全、服务可持续发展，还为人们安全、舒适、快捷、方便、经济、顺畅的出行提供了保障。

高速公路路网的形成，导致出现二义路径的现象，人们出行就会面临路径选择的问题。路径分析是高速公路网络分析研究的热点，通常也可以理解为求解最优路径。对高速公路网交通网络进行路径分析时，按其网络路径中所赋予权重的不同，可以分为距离最短路径问题、时间最短路径问题、油耗最小路径问题、费用最小路径问题、安全舒适性最优路径问题等。对用户来说最优出行路径比最短出行路径更具有实际意义。

本论文从高速公路路线选择的影响因素、出行者心理行为方面入手，研究人们对高速公路出行路径的决策分析，通过调查，了解人们的出行心理以及选择偏好，从而建立

高速公路出行路径的模型，为高速公路交通流量的合理分配和揭示高速公路出行机理起到了积极地作用。

1.4 研究的主要内容

本论文在研究高速公路出行者的出行心理、出行行为的基础上，论证了人们在高速公路出行时，选择自己所认为的最优路径，而不只是最短路径。根据对高速公路出行者的调查研究，利用层次分析法和灰色系统理论相结合的方法来分析出行者的路径选择决策。

论文以高速公路出行者行为理论为基础，以研究出行者的选择行为为核心，共分为六个章节：

第一章：绪论部分，主要介绍了论文研究的背景，国内高速公路发展的现状和目标方案，国外高速公路发展的现状以及论文选题的意义。

第二章：论述了影响出行者选择路径的各种因素，包括道路本身的因素、出行的费用因素、出行时间因素以及出行者自身的特征因素等。

第三章：对人们的出行心理进行了研究，主要考虑出行者的主观方面的因素，从人们的心理来判断出行者的偏好，为出行者的路径选择提供了依据。

第四章：讲述了决策分析的理论，结合出行者的出行行为，研究了高速公路出行者对路径选择的决策。

第五章：通过对高速公路出行者的调查，分析了调查数据，并根据调查数据，结合以上几章的理论知识，利用层次分析法和灰色系统理论结合的模型，模拟出不同偏好的出行者的最优路径。

第六章：总结了本文的主要内容，并提出进一步的研究。

2 高速公路出行路径选择的影响因素

高速公路出行路径选择研究出行者给出起、讫点后，如何选择最优出行路径。随着高速公路网的逐步完善，为出行者提供有效、快速、舒适的出行成为可能。在庞大复杂的高速公路网中，出行者从任意点出发到目的地之间的路径的选择往往不唯一。出行路径选择涉及到的因素很多，如道路因素、出行费用因素、时间因素、出行者心里因素等等。本文针对此问题进行以下方面的研究。

2.1 道路因素

影响高速公路道路的因素有很多，本节主要介绍以下两种因素^[15]：

2.1.1 道路线型

道路平面线型由直线段和平面曲线段组成。道路纵断面线型由上坡、下坡的直线和竖曲线组成。

(1) 道路曲线半径

由于汽车在曲线上行驶要受到横向离心力的作用，可导致侧向滑移或倾覆。因此，为了保证行车的平顺与舒适，避免因横向离心力过大引起车辆的侧滑、倾翻、颠簸和汽车弹簧超载。

(2) 道路纵坡

高速公路的最大纵坡一般是根据汽车的爬坡性能、计算行车速度、所在地区自然因素等确定的。要求行车速度越高，希望纵坡越平缓，以保证较大的通行能力。纵坡越大，若再加上气候、海拔高度等因素的影响，势必影响道路的通行能力。

2.1.2 路面抗滑移能力

行车时道路表面的抗滑能力不仅影响交通安全，同时也影响道路通行能力。道路表面和轮胎之间的摩擦力称为道路表面的抗滑能力。同样一条道路，如果表面干燥、清洁、抗滑能力就高，若是表面潮湿、泥泞或覆盖冰雪，变得非常滑溜，这时道路的路面抗滑能力就小。为了保证行车安全，避免行车时容易引发交通事故，驾驶员不得不把行车速

度降得很低，从而直接影响道路的通行能力。提高道路抗滑能力的措施有：路面材料的骨料应选择坚韧耐磨的石料，加铺防滑磨耗层等等。

2.2 出行费用因素

2.2.1 高速公路收费

从行为科学角度分析，出行者在选择出行路径和出发时间时，往往只考虑自己能感知或者说自己将付出的成本。当道路的通行能力充足时，这种“自私”的行为不会影响到其他人的出行，对道路中其他使用者的影响较小。但是，当交通流量接近通行能力时，拥挤程度上升，道路上每新增加一个出行单位都会使系统中所有成员的利益受损。此时，如果交通需求继续增加，大家又都坚持原来的出行计划，不另择它路或改变出发时间，就会使交通系统拥挤不堪，直到瘫痪。在无法采用技术手段改变交通系统的混乱情况时，最好的办法是采用经济手段。出行者之所以坚持在拥挤路段出行，就在于他们仅仅考虑自己的感知成本或者边际个人成本，而没有支付他们给其他出行者所带来的“外部不经济”，即出行者没有为其出行支付全部社会费用(即边际社会成本，还可以包括由交通导致的环境污染)，从而鼓励了交通量的无节制增长。经济学家相信：缓解交通拥挤上最直接、经济上最有效的办法就是对拥挤路段的使用者收费，付费的人还可以在原来的路上和时段行驶，不想付费的人就另择它路或改变出发时间，这样，原来拥挤的路段就被缓解了，从而使道路网络的使用达到最优。

另外，在道路网还不发达的时候，政府需要建设足够的道路供可能发生的交通需求或者已经发生的交通使用。为筹集资金，政府鼓励资金持有者或者采用借款的方式去建设道路，而作为投资回收的保证措施之一就是向使用该条道路的驾车者收取通行费。从这个角度分析，道路的拥有者希望自己的道路能够吸引足够用户，能够使自己的收益高于自己的成本。所以，道路收费在整个交通系统中只是一种手段，或用于抑制交通需求或用于资金筹措。在交通系统的运行过程中，道路收费作为一种交通需求和交通供给之间的平衡因素，就像利率一样，将会存在很长时间^[16]。

表 2.1 为中国部分高速公路投资成本情况：

表 2.1 中国部分高速公路投资成本情况^[17]

Table 2.1 the condition of the highway capitalized cost in china

公路名称	总里程(km)	总 投 资 （ 亿 元）	平 均 每 公 里 投 资 （ 万 元 ）	建成时间
1.成渝高速公路（四川段） （四车道）	226.000	26.17	1158	95.09.15
2. 成渝高速公路（重庆段） （四车道）	114.200	18.39	1610	95.04
3.沪宁高速公路（江苏段） （四车道）	248.200	62.10	2502	96.06.15
4.陕西西宝高速公路（四车 道）	146.000	14.20	973	95.11
5.陕西渭同高速公路（四车 道）	78.520	14.10	1796	99.09.30
6.福建福泉高速公路（四车 道）	165.000	46.70	2830	99.09
7.广西桂海高速公路（四车 道）	652.000	105.88	1624	00.08.19
8.福建泉厦高速公路（四车 道）	81.700	27.86	3410	97.12.15
9.西安绕城高速公路(倍段) （六车道）	33.852	18.27	5397	00.10.28
10.江苏锡澄高速公路(六车 道）	34.988	17.55	5002	99.09

高速公路收费与交通需求之间关系一直是为出行者所关注，一种比较合理的收费成为了保护投资者和社会整体利益的有效杠杆。据部分研究表明，交通需求和用户认知的道路使用成本的关系如图 2.1 所示。

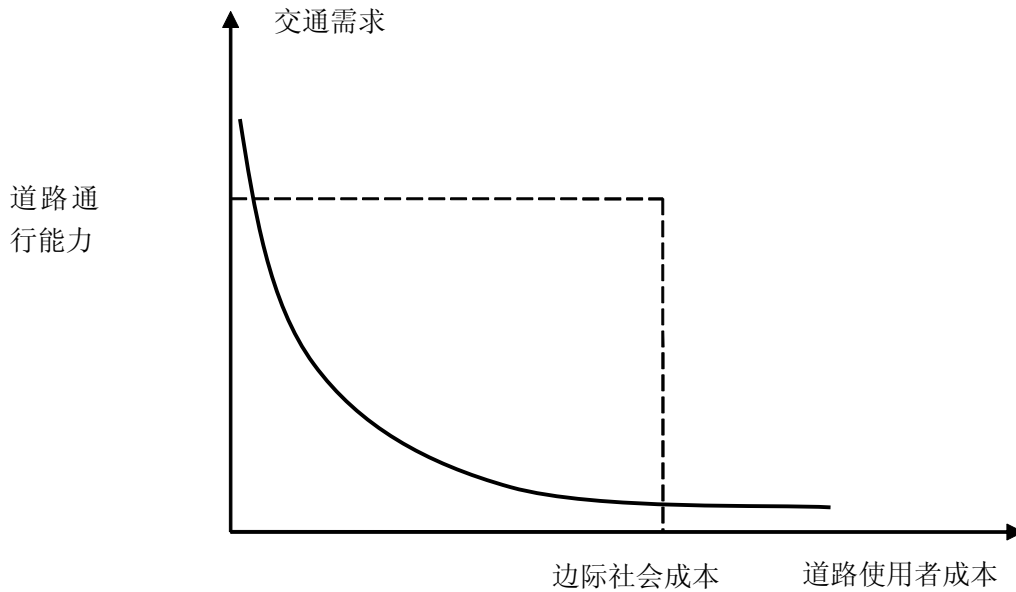


图 2.1 交通需求与道路使用者成本关系示意图

Fig.2.1 The relation of traffic demand and highway used cost

根据国情，我国采取“筹资建路—收费—还贷—再建路”的波动模式发展高速公路。建设资金采取国家拨款、地方自筹、引进外资和发行股票等多种渠道筹资。公路开通营运后，使用道路的车辆一律按章征收通行费，以付息还贷，支付管理维护费用等。这样，高速公路营运管理具有明显的经营性质，收费成为公路管理部门的一项重要职责，道路收费是我国高速公路的重要特征，可以说，我国高速公路基本上都是收费公路^[18]。

高速公路与普通公路相比，主要不同处是“高速”和“收费”。正因为“高速”使用户节省行车时间、提高运输效益，因此车辆争相使用高速公路，导致需求增加使车辆密度不断上升，当供求平衡或某种异常事件发生（如主车道收费服务时间过长或发生交通事故），极易产生车道拥挤堵塞，通行车辆短小时内即可形成排队长龙。“收费”不仅是高速公路的主要财政收入，也是缓解道路堵塞的一种手段。

出行者具有不同的经济特征，如果可行路线间存在不同的收费，使用者就会对可行路线进行选择，通过衡量道路的服务条件，以及出行的目的，出行者会对每条路的收费总和进行评价，选择对其效用最大的费用值。道路收费主要由起讫点间各个路段的收费总和决定^[19,20]：

$$f(c) = \sum_{i=1}^m c_i \quad (2.1)$$

2.2.2 运营费用

运营费用主要是指车辆运营所产生的有关费用,包括燃油费,轮胎磨损费用和机件磨损费用,以及阻塞成本(在阻塞经济学中,阻塞成本被定义为在存在交通阻塞的条件下,燃油费等物质损耗的增量与所等待时间的机会成本之和)。由于车辆运营费用受道路的自然条件(路面平整度、道路的平纵面线形)和运营条件(车速、交通拥挤状况)的影响,因此在相同的车况条件下,道路等级越高,道路状况越好,车辆运营成本水平就越低,对出行者来说越具有吸引力^[21]。

2.3 时间因素

时间价值是公路建设项目评价中确定社会效益的一个重要参数。从哲学的意义上讲,时间与空间一起,构成物质存在的基本形式,对于整个物质世界来讲是无限的;但从经济学的观点看,时间对于每一具体事物来讲则是有限的,因而也是一种资源,具有机会成本和价值。所以马克思说,时间的节约与分配是首要的经济规律。高速公路的建设与发展,改善了路网结构,提高了运输效能,促进了区域间的交流,同时也节约了大量的社会运输消耗,包括物质上的和时间上的,因而产生了巨大的经济效益。

根据我国高速公路建设项目可行性研究成果,在这些经济效益中,时间节省产生的效益约占 30%-50%,最低者也达 25%,最高者则达 50%以上,亦即时间节省效益可超过其它各项效益之总和^[22]。

人们驾车出行追求的就是一种便捷性,因此时间因素往往也是出行者最为关注的,它主要是指从出发到目的地,完成整个行程的时间,包括正常的行驶时间、因拥挤造成排队时间等。高速公路与平行公路相比,其最明显的级差效益就体现在行车时间较短。目前,随着我国油价攀升,行车时间往往意味着运营费用低,所以,驾车出行者更加注意在公路收费和新的运营成本间权衡得失做出决策。

出行者的行驶时间表达为:

$$f(t) = \sum t_1 + \sum t_2 + \sum t_3 \quad (2.2)$$

式中: t_1 为自由流量情况下,标准小客车在路段上行驶所需时间; t_2 为收费造成的时间延误; t_3 为路段交通阻塞造成的延误。

2.4 服务水平

2.4.1 服务水平的概念

服务水平是指道路使用者根据交通状态，从行车速度、舒适、方便、经济和安全等方面所能得到的服务满意程度。服务水平的实质是描述车流之间的运行条件及驾驶员和旅客感觉的一种质量量度。

服务交通量是指在通常的道路条件、交通条件和管制条件下，并保持规定的服务水平时，道路的某一断面或均匀路段在单位时间内所能通过的最大小时交通量。不同的服务水平允许通过的服务交通量不同。允许服务交通量愈小，驾驶自由度就愈大，舒适与安全性就愈好，此时运行质量就愈高。反之，允许的服务交通量大，则服务水平低。

2.4.2 服务水平等级

服务水平亦称服务等级，是用来衡量道路为驾驶员、乘客所提供的服务质量等级。各国等级划分不一，一般均根据本国的道路交通的具体条件划分为 3~6 个服务等级，日本分为三个等级，美国定为 A、B、C、D、E、F 六个等级^[23]，如下：

A 级——畅行车流。特征为交通量少、车速高、交通密度低，驾驶员在客观许可的条件下可按自己的意愿控制车速而无任何干扰和延误。

B 级——稳定车流。特征为车速开始受到交通条件的限制而有所降低，但驾驶员仍能较为自由地选择合理的车速。

C 级——稳定车流。特征为车速开始受到较大交通量的影响，驾驶员已不能自行决定车速，但还能得到较满意的车速。

D 级——接近不稳定车流。特征为车速受到相当大的影响，能勉强维持所需要的车速，行车性和舒适性变得较差。

E 级——不稳定车流。特征为行车不畅，车速很低，处于时开时停状态，交通量接近于道路的通行能力。

F 级——强制车流。特征为能勉强行驶，车速极低，道路通行能力低于实际交通量。出现排队甚至完全堵塞现象。

各级服务水平与交通量、通行能力、行车速度的关系见图 2.2。

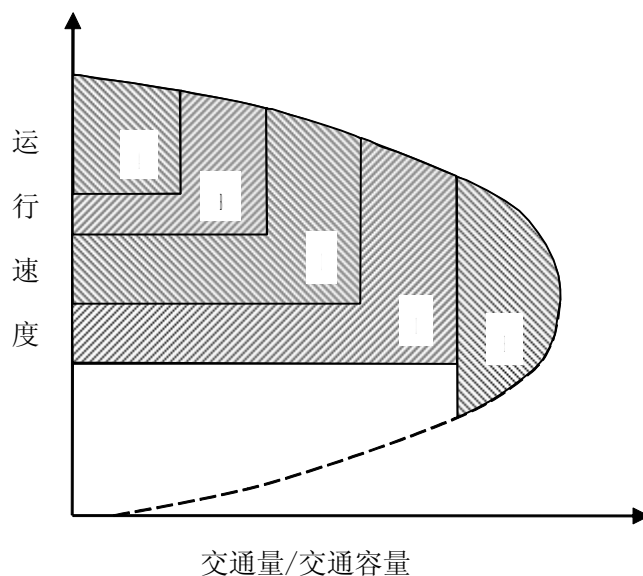


图 2.2 各级服务水平与交通量交通容量的关系

Fig.2.2 The connection of service level and traffic

2.5 出行者特征

在面对多条可行路径选择时，出行者受到自己出行目的、驾驶经验的影响，根据不同的道路状况，进行选择。出行者的出行目的不同，对道路条件的要求就不同；在出行时，出行者会根据自己对出行过程中的期望，对道路的行驶时间、费用、舒适度等各方面的综合效用的大小进行衡量，考虑最适合的可行路线。在出行前，如果已知可行路线的各种条件，出行者会根据自身的驾驶经验的积累程度，结合道路出行服务信息的实际，引导当前选择，选择的结果，将会累积，作为下次出行的参考。

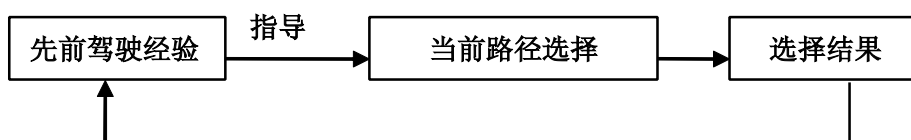


图 2.3 出行者路径选择思维过程^[20]

Fig.2.3 The thinking process of routing selection

出行者因年龄、习惯以及经济条件的不同，对行驶路线的选择差异很大。一般青年人动作反应快，往往喜欢开快车，相对愿意选择交通不拥挤、道路条件好的高速公路。而中老年选择高速公路的相对较少。同时，车辆属性亦是影响因素之一，个人的和公用的车辆，在路径选择上会存在明显的不同。个体车辆驾驶员由于自己承担成本，他们可

能会考虑收费较少的高速公路。而属于单位所有的车辆驾驶员，相对收费更在乎时间的节约（因为高速公路收费的费用是可以报销的，而节约的时间却是自己的）。

人们出行除了考虑费用因素外，道路交通安全及行驶的舒适性（主要受当时路段的交通量的影响）也会影响出行者进行路线选择。此外，收费公路的长度也是影响因素之一。收费公路越长，公路使用者节约的行驶时间的绝对数量越大，直接感知的时间价值越高，收费公路对使用者的吸引力越大。反之，出行者会觉得选择收费公路的意义不大。

3 高速公路出行者心理行为研究

3.1 出行选择行为理论研究体系

出行选择行为理论的研究需要借鉴管理学、行为科学、心理学、经济学等多门社会学科的研究成果，把这些学科的理论放置于交通这个复杂系统中，研究出行者的出行这一社会现象，通过调查、实验、仿真来挖掘现象的本质，运用数学方法，构筑模型，作为诱导效用研究、交通仿真研究的基础，以及交通需求管理的支撑^[24,25]。

出行选择行为理论体系构建可以采用树状结构。通过总结国内外交通行为理论研究技术，系统化方法体系，以对出行行为调查为基础，系统分析出行需求的产生机理、出行选择行为的决策机理、出行选择行为心理活动、出行选择行为偏好、以及出行链、活动链的相关研究，利用有效的数据处理及挖掘方法，充分整合调查数据，构建出行解析模型；按照一定的规则将不同研究整合，形成出行选择行为研究体系。出行选择行为理论研究体系结构中每一层的构筑相对独立，上一层结构是下一层结构实现的基础，下一层结构是对上一层结构的深入。出行选择行为研究体系概念图如图 3.1 所示。

3.1.1 出行行为在交通诱导管理中的地位

交通诱导管理策略的实施以及出行者在信息条件下对诱导的响应，是一个复杂的多方动态博弈过程，最终实现动态平衡即可分析各类用户群体的效用。同时，这一动态平衡的结果又可对诱导管理策略进行调整，如图 3.1 中单实线箭头，同时，每一过程也在反作用于上游过程，如图 3.2 中虚线箭头。以往诱导效益评价忽略了诱导效用的产生过程，直接将效益进行测算，如图 3.2 中粗线所示，导致分析过程中出现了一个黑匣子，即在不了解出行者行为、和信息供给条件下出行者响应的前提下，直接跳过来分析用户效用，导致始终无法真正解析诱导的效用产生机理。由此可见，交通诱导管理的效用机理中，“信息提供”与“出行者行为”是两个重要环节，也是不可或缺的基础理论支持。

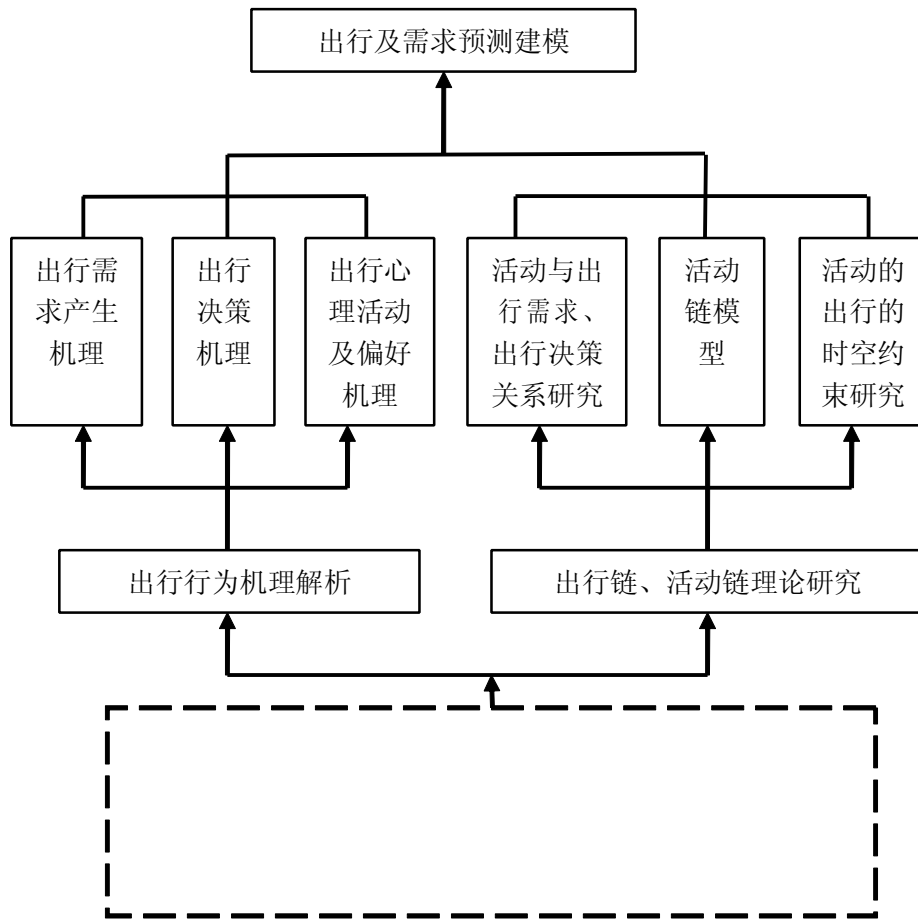


图 3.1 出行选择行为研究体系框架

Fig.3.1 Trip behavior research framework system



图 3.2 诱导管理效用解析

Fig.3.2 Traffic guidance management efficiency analysis

3.1.2 出行需求产生机理解析

根据心理学理论，人的行为起源于脑神经的交合作用综合形成的精神状态，即所谓的意识。当意识表现为动作时，便形成了行为，因此，人的行为实际上包括两种：一种

是内在行为，即意识的产生；另一种为外在行为，也就是实际行动，实际行动是意识表现为行为动作的结果^[25]。借鉴心理学理论，人的出行行为可以描述为下面的过程：人在受到自身渴望和外部刺激的协同作用下会产生某种需求，之后他会根据自身的及外界的各种环境条件，选择一种具体的实现过程，即出行。

在出行当中，他根据自身条件及客观约束，来选择所实施的行为，以此满足其实质需求。人的活动会因为需求的越来越强烈，以至于突破一定的客观约束条件的临界值而实施，并伴随着需求的满足，需求的强烈程度减少而停止，如图 3.3 所示。

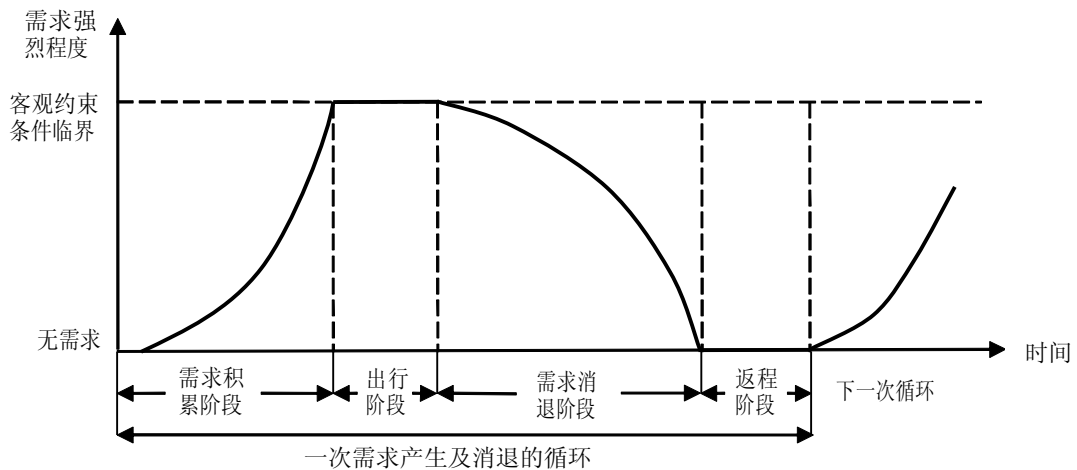


图 3.3 出行需求产生及消退示意

Fig.3.3 Trip demand's production and retrogression

总的来说，人对活动的需求可以分为基本需要和责任两种。基本需要是人在自身渴望和外界刺激条件下产生的，其需要的强烈程度受自身渴望程度和外界刺激的程度而决定，而自身渴望是人的生理需要和心理需要来决定的，外界刺激只作用于心理。责任需要则可以直接导致人的活动。可以用以下概念模型来描述出行需求的产生：

$$D_a = f(A_s, S_t) \quad (3.1)$$

$$\text{式中: } \begin{cases} A_s = g(b, m) \\ S_t = h(m) \end{cases}$$

Da——活动需求的强烈程度；Rs——责任需求；As——自身渴望程度；St——外部刺激强烈程度；b——生理因素；m——心理因素；Ir——客观约束条件。

如果定义出行产生为 T=1，无出行产生为 T=0，则

$$T = \begin{cases} 1 & \text{当 } \{D_a \geq I_r\} \cup \{\forall R_s\} \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3.2)$$

3.2 高速公路出行者心理解析

行为科学理论告诉我们，人们的行为选择通常是受其心理要求支配的，交通行为是受人们的交通需求心理支配的^[26]，需求是个体由于缺乏某种生理或心理因素而产生内心紧张，从而形成与周围环境之间的某种不平衡状态，其实质是个体对延续和发展生命，并以一定方式适应环境所必需的客观事务的需求反映，这种反映通常以欲望、渴求、意愿的形式表现出来。动机是引起某种行为，维持该行为，并将该行为导向一定目标的心理过程。行为科学认为，在影响消费者行为的诸多心理因素中，需求和动机占了特殊重要的地位，与行为有着直接而密切的联系。这是由于人们的任何消费行为都是有目的的，这些目的的实质是为了满足人们的某种需求或欲望。当一种需要未取得满足时，人们会产生内心紧张；这种紧张状态激发人们争取实现目标的动力，即形成动机；在动机的驱使下，人们采取行动以实现目标；目标达到，需求满足时，人们的内心紧张状态消除，行为过程即到此结束^[27,28]，如图3.4所示。而出行也是人类行为的一种，因此，人的出行心理也服从心理学的一般标准。由于“出行”不是出行的真正目的，而是完成活动的一个必须过程，因此，对于出行者而言，出行的过程很少会给出行者带来“享受”，即正效用，大多数情况下都是负效用（旅游出行除外，因为旅游出行的过程实际上是活动的执行过程），而人们之所以愿意出行是因为活动所带来的效用加上出行的负效用，大于不出行的效用。因此，如果降低出行的负效用，仍然可以增加出行者的出行。

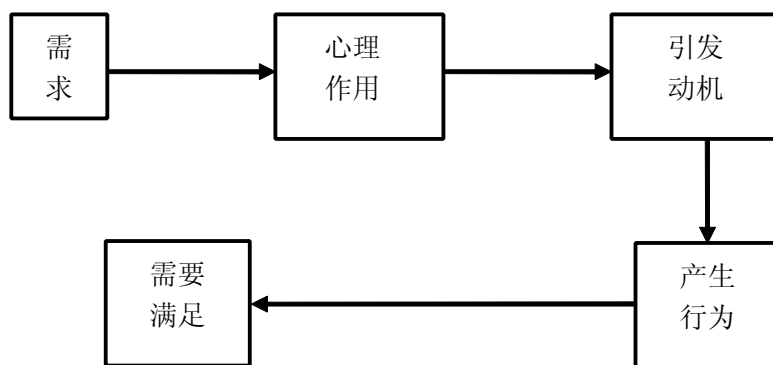


图 3.4 个体行为产生过程^[27,29]

Fig.3.4 The process of individual behavior

3.2.1 心理研究的基础理论

1) 人类行为

行为是人类日常生活中所表现出的一切动作^[30,31]。关于人类行为的定义，心理学家

克特·勒温曾写成如下公式：

$$B = f(P, E) \quad (3.3)$$

式中：B：表示行为；P：表示个人——内在心理因素；E：表示环境——外界环境因素，包括自然、社会等方面。

此函数的意义是，行为可以表示为个性和环境的函数，即一个人的行为是由他的个性及其所处环境共同作用的结果^[28]。环境的约束越强，个性特征对行为的预测越不准；反之，环境给予行为变化和选择的可能性越大，预测就越准。当E=C(常态)时，才会得到较符合常识行为函数：B=f(P)。我们可以把这个模型应用到交通行为的选择上。

从心理学的角度讲，人类行为是有共同的特征的。不管男女、老少，属于何种社会阶层，以及任何时代，任何种族的人类，都有其不同于其它动物行为的共同点。综合人为学家研究的结果，人类行为特征至少有以下几方面：自发的行为；自觉地行为；持久性的行为和可改变的行为。

研究人的行为的共同特征，对探索动机的规律，心理活动的规律，具有很大帮助。人的行为的基本单元是动作，所有的行为都是由一连串的动作所组成。出行行为分析的重要任务之一就是要了解，预测与控制一个人在什么时候产生出行需求(出行的发生)；同时要了解是什么需要和动机能在某一特定时间唤起出行需求。

交通行为是指人们为了实现某种目的而与外界环境相互作用中所做出的反应，城市空间的差别引起的空间势能是导致交通出行的最直接原因，这种差异包括：自然地理位置等方面的差异；城市经济活动类型及强度等方面的差异；社会活动产生的社会组织结构、管理体制等方面的差异。一般说来，出行分为“方式出行”和“目的出行”。“方式出行”是指每一种利用不同的交通方式所进行的移动，“目的出行”是考虑由出发点到目的地的全体移动。在高速公路网出行中，出行主要分为路径选择和目的出行。出行的基本要素是起讫点、路径、交通工具、出行人和出行目的。对出行者来说无论哪一种出行首先都要有它的动机；不同的出行目的，可能会采取不同的交通方式，但一般说来其主要由两大类组成：①因公需要出行。其目的有出差、商业活动、参加社会活动等，出行费用由单位支付；①因私需要出行。其目的有外出旅游、探亲访友、求医、就学、求职、外来人员返程、个体商业活动等，出行费用由自己支付。

2) 心理学基础

心理学是一门研究人的心理现象及其规律的科学。人是作为个体而存在的，个人所具有的心理现象是一个非常复杂的系统。

心理过程，即心理活动的过程，是心理现象的不同形式对现实的动态反映。在 19 世纪和 20 世纪初期，心理学家把心理现象划分为三个过程，即认识过程、情感过程和意志过程，其中最基本的是认识过程。

①个性心理现象与行为

行为是人的反应系统，由一系列反应动作和活动构成。有的行为表现得很简单，而有的行为表现得很复杂。刺激是引起行为的内、外因素。在人类行为中，语言刺激具有重要的意义，通过语言发布命令，可支配别人的行为，也可进行自我调节，使行为服从预定的目的。

行为不同于心理，但又和心理有着紧密的联系，引起行为的刺激常常通过心理的中介而起作用。人的行为的复杂性是由心理活动的复杂性引起的。同一刺激可能引起不同的反应，不同刺激也可能引起相同的反应，其原因就在于人有丰富的主观世界。主观世界的情况不同，对同一刺激的反映总是不一样的。

心理支配行为，又通过行为表现出来。一个人的视觉和听觉能力，是通过他对微弱光线和声音的反应表现出来的；一个人的情绪和情感，是通过面部的姿势表情表现出来的。心理现象是一种主观精神表现，看不见，摸不着，而行为具有明显的外在特点，它可以应用客观的方法进行测量。由于行为表现了人的心理活动，因此，可以通过观察和分析行为，来客观地研究人们的心理活动。通过对行为的客观记录、分析和测量来揭示人的心理现象的规律性。

②个体心理与群体心理

心理过程和个性心理是存在于个体身上的心理现象，称为个体心理或个体意识，是心理学的主要研究对象。但人是社会的实体，人作为社会成员，总是生活在各种社会团体中，并与其他人结成各种各样的关系。由于社会团体的客观存在，便产生了群体心理。一个群体由于具有某种特定的心理特征而区别于其他群体。群体心理与个体心理的关系，是共性与个性的关系。群体心理是在群体的共同生活条件和环境中产生的，它是该群体内个体心理特征的典型表现，而不是个体心理特征的简单总和。群体心理离不开个体心理，但它对个体来讲，又是一种重要的社会现实，直接影响个体心理的形成与发展。

③心理的实质

心理现象是人脑的机能，客观现实的主观映像。从人脑的反映机制来说，人是自然实体；从反映的现实内容来说，人又是社会实体。人的自然属性在人们的心理行为上起制约作用，人的社会属性则起决定性作用，两者不能等量齐观^[27,32-34]。

3.2.2 出行需求层次

为了实现出行者预期的活动，出行者必须实施出行行为，因此，出行者出行的最基本的要求是安全到达出行目的地。在安全到达的基础之上，出行者会延伸出许多较高的要求，包括：顺畅、便捷、快速、舒适、准时、经济等。这些是较高层次的出行要求，当这些要求均能得到满足的时候，出行者会产生更高的出行需求，即出行的人性化、智能化和信息化。

出行的人性化是对出行环境的要求，包括宏观层面的高速公路沿途风景的优化布局，以及中微观层面的道路枢纽人性化设计等等；出行的智能化是对交通运营的要求，包括高速公路交通流量的优化配置等等；出行的信息化是对交通服务的要求，包括出行前信息的查询、道路实时信息的发布、静态交通信息的发布和查询、以及出行过程中的信息服务等等^[24,26]。出行需求层次图如图 3.5 所示：

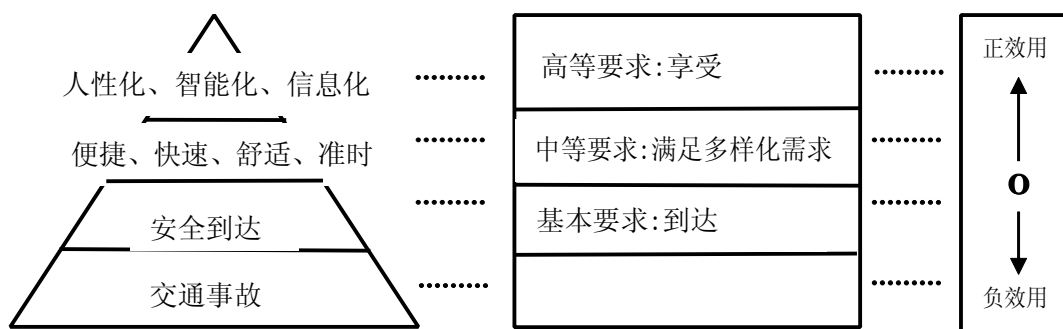


图 3.5 出行需求层次

Fig.3.5 Trip demand levels

3.2.3 出行心理因素

出行者出行的共性心理是指所有出行者在出行的过程中从开始出行到出行终结，经过各环节，遇到不同情况，所具有的相同的心理活动^[35]。一般来讲，人们首先考虑是否出行，然后是出行的时间、目的地，交通工具、交通路径的选择等。在这个过程中，其共性的心理主要包括：安全心理、便捷心理、经济心理、舒适心理等。一般来说，出行者在出行中的心理活动是相当复杂的，出行的每个阶段都呈现出不同的心理活动。同时，由于出行者的个体属性不同，出行者也表现出明显的个性心理。出行者的个性心理跟出行者的性别、职业、收入、年龄等有关。于出行者在这些属性上的差别，不同的心理在出行者的出行心理活动中所占的重要程度就有所不同，例如收入较低的出行者，在出行

活动中，经济心理占了重要的地位；收入较高的出行者，舒适心理在心理活动活动中占重要的位置。此外，出行者的个性心理还与出行者的家庭属性也有很大关系。由于家庭的传统和习惯的熏陶，一个家庭与另一个家庭，其成员的出行也会表现出较强的个性心理。

3.2.4 出行选择偏好

类似于消费者行为，出行者对于其购买的产品（如选择的不同交通路径、选择不同的出发时间）也存在一定的品牌偏好，该偏好是出行者在多次出行过程中逐渐形成的，并且，一旦形成之后，在以后的出行过程中，出行者会极力维护对出行偏好的忠诚度，轻易不会改变。

如采用计算机语言解析人脑的出行思维过程，可假设人脑中存在着一个为储存出行选择偏好的出行情景库，出行情景库由 n 个储存单元组成，每个储存单元中储存着出行模式，和对应的出行偏好^[25]。出行模式又是由多条储存信息构成，例如出行目的、出行时间、出行路径等。其结构如图 3.6 所示：

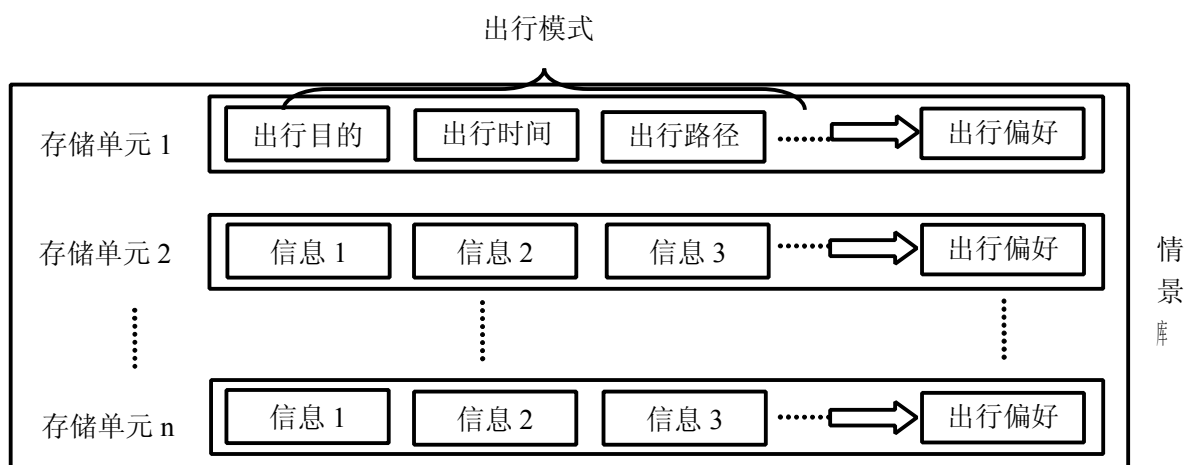


图 3.6 行情景库机构示意

Fig.3.6 Illustration of trip scene storehouse structure

出行者每次出行后，都会更新出行情景库，在情景库中加入新的储存单位，或者修改出行偏好。出行偏好是由出行时间、出行方式、出行目的地等多个因素构成的组合，出行偏好不一定是出行的最优解，但一般都是可行解。

3.3 高速公路出行的行为过程

3.3.1 出行行为产生内在机理

出行行为是指出行者为了完成某种预定目的,借助一定的出行方式而产生的交通移动过程。在高速公路出行过程中,出行者运用自己的出行经验以及有效的交通信息,对出行时刻、出行路线以及出行方式做出的判断和决策。出行者行为的产生是内、外因素交互作用的结果,是出行者生理状态、心理状态共同决定的。系统中,出行者通过自身的感觉系统和动作系统与整个高速公路网发生关系^[36]。这一关系可通过个体出行行为人机界面简单表示,如图3.7所示。

出行者通过感觉系统感知系统中的信息,为出行行为决策提供前提条件;所获取的信息在中枢神经系统中进行加工、处理,结合其自身出行目的、经济基础及自身各种内在条件等特性,加工为出行者可辨识的有用信息,为出行者提供决策基础;根据出行者的个人决策结果,通过动作系统执行具体的行为过程。

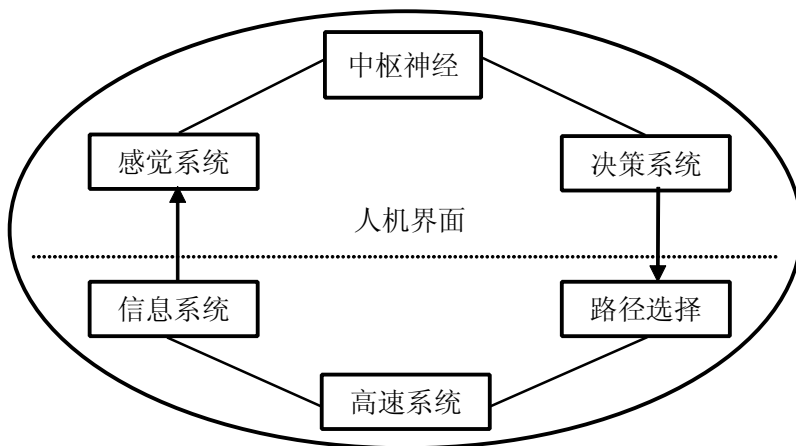


图 3.7 个体出行行为人机界面

Fig.3.7 Human-computer interface of individual trip behavior

出行者在出行时,已往的经验及出行信息系统所提供的出行信息传递给人的感觉器官,经中枢神经对获得的信息进行处理后,进行判断、决策,影响交通系统状态。出行行为是发生在一定的交通环境中的,所以出行者所处的外部环境也将不断影响并制约着出行者的行为。

所以系统中出行者行为产生的内在机理可归结为:感觉器官接受内外部分析;中枢神经对获得的信息进行加工处理,通过对有效信息的正确理解,在决策中心做出合理决

策；出行者执行决策，选择不同的出行行为，完成出行活动。

3.3.2 出行者行为层次划分

不同的出行个体拥有不同的交通环境信息库、经验知识库、个体特征，导致其出行行为决策各异，根据出行者的行为决策将出行者的行为划分为三个层次^[37]，如图 3.8 所示。

(1) 反射层次的行为：发生在外界刺激与以前的经验一致时，这时的信息处理特征是：知觉的外界信息不经大脑处理，下意识的行为。此层次的行为来说，一方面出行者可以节省信息处理时间，准确而高效地工作，并迅速采取措施对付紧急情况；另一方面，由于出行者考虑的重点是以前的经验，可能会忽视一些易变的因素，从而因为不注意而接受不当心理，易造成不当的行为。

(2) 规则层次行为：当出现二义路径时，出行者要对出行时的路径进行估计，然后按照其所选择的行为过程出行。当出行者的行为为规则层次的行为时，出行者可能由于思路错误或按常规行为出行，一旦出现异常交通情况，容易发生不当行为。

(3) 知识层次行为：当出行者处于不熟悉的交通系统中时，其已有的行为经验不足，要借助于别人的经验或其它信息系统，思考如何采取行动，经过深思熟虑后再采取行动，该层次行为属于知识层的行为。进行该层次的行为时，出行者受已有的知识、概念所左右，可能选择非最优行为。

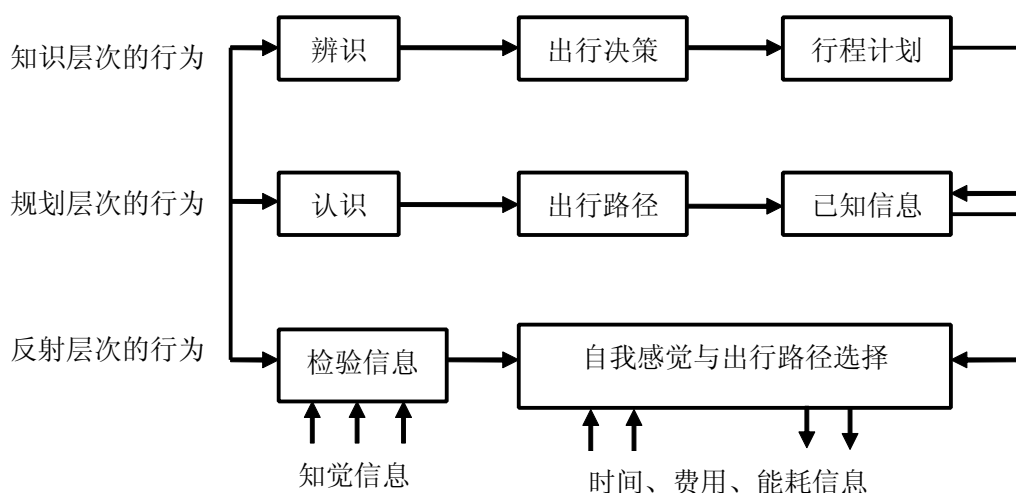


图 3.8 出行者行为层次

Fig.3.8 Travelers' behavior levels

由于各种随机因素（包括出行者自身的不确定因素及周围环境中存在的随机因素）的存在，同一个出行个体面临不同的交通环境时，其行为层次可能不同；不同行为层次

的出行者在面临相同的交通环境状态时，其决策过程各异，也可能导致其出行行为不同。

3.3.3 出行行为形成过程模式

在高速公路网系统中，影响出行行为的因素复杂：既有出行者个体因素又有交通环境因素，也有社会经济发展因素，并且这些因素之间又具有一定的关联性。影响因素的复杂性导致出行者行为表现方式各异，具体的行为特征多样，进而导致具体的行为过程模式复杂多样。但一般的出行行为过程具有一定的共性：特定目的的出行者从已有的经验知识库中感知已有信息，并从周围环境中收集相关信息，根据自身状态、行为本身特征及交通系统状态，进行判断决策，同时根据决策结果采取具体的行动，完成行为过程，并对此次行为经验进行反馈，储存到后续出行的经验知识库中^[38]。该通用模式具体可用图 3.9 表示。

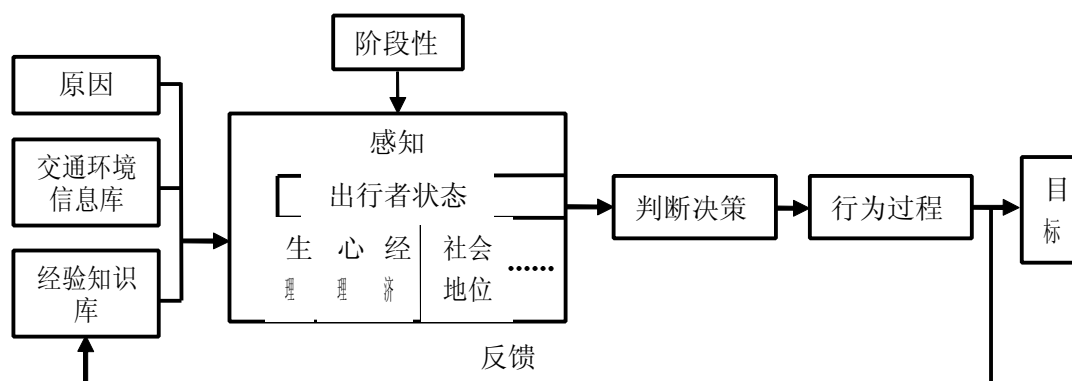


图 3.9 出行行为形成过程模式

Fig.3.9 The formation models of trip behavior

图 3.9 中，出行者感知的阶段性是指同一出行者在不同的时期处于不同的状态，其具体的感知不同。即使对出行者的某一具体的出行行为来说，在出行过程中，周围的交通环境及其自身状态也是一直处于动态变化过程中的，出行者的具体感知也并不是一成不变的。

3.3.4 出行者行为过程

由对出行者行为层次及具体的形成过程模式分析，出行者的具体行为过程可描述为如图 3.10 所示：

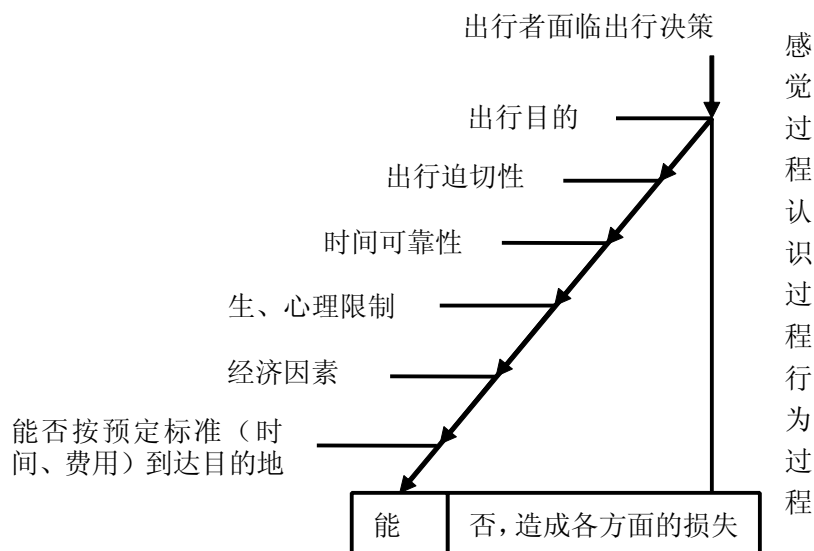


图 3.10 出行行为响应过程

Fig.3.10 Response process of trip behavior

根据图 3.10，对不同年龄、文化程度、体质的出行者来说，在行为过程中具有不同的生理状态，其行为决策是不同的；同时对具有不同的出行目的、经济收入不同及所从事职业不同、所属社会群体不同、已有经验积累不同的出行者来说，其出行过程中的心理状态及影响其行为的因素、各因素的权重是各异的，其行为决策也各不相同。即使对同一个出行个体来说，在不同的时期具有不同的生理状态，同时经济收入、社会地位等的变化也会导致其心理状态发生变化，其具体的行为过程也会有所不同；即使是对同一个出行个体在同一时期面临同一出行目的的出行决策时，由于天气、交通状况等外部环境条件的不同其具体行为表现也不会完全相同。

根据上述分析出行者行为机理可概括如下：出行行为与出行者的心理、生理状态密切相关，是从出行者内部状态派生的。同时出行者的生理、心理状态是交互影响的，并且外部环境因素影响出行者行为选择时的内部状态，各种内外部因素交互作用，导致出行者的具体行为过程。在具体的行为过程中，反馈是心理的自我控制的过程和手段，交通个体通过反馈控制自己的行为和心理。对出行者行为的进行研究，掌握其机理与规律，相关管理部门据此可以制定交通政策引导高速公路出行行为向着可持续化方向发展^[36,39-43]。该行为机理可用图 3.11 简要表示：

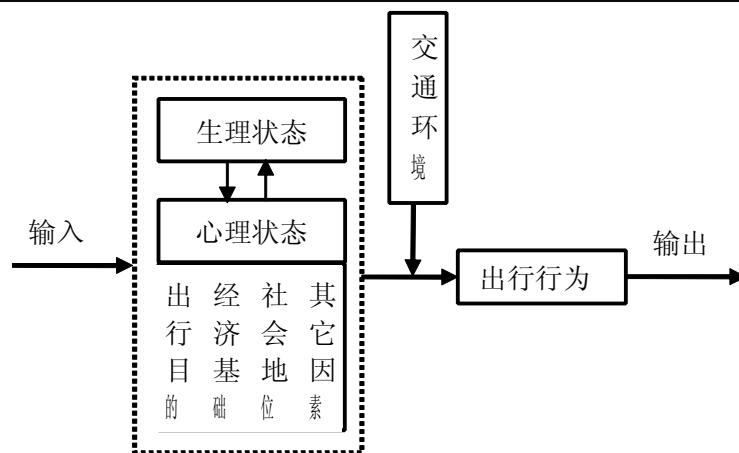


图 3.11 出行行为机理

Fig.3.11 Mechanism of trip behavior

4 高速公路出行者路径选择行为决策分析

4.1 决策分析的基本理论

4.1.1 决策的概念

决策^[44]是人类生活、生产过程中最普遍存在的一种活动。它是决策者为实现当前或未来的目标,按照一定的价值准则,对可能的各个行动方案进行分析判断,从中选择满意方案的过程。

决策的本质是一个优化过程,它是一个反复分析、比较、综合并最后做出抉择的复杂过程。它不是一次认识、一次分析、一次判断就可以完成的。所以决策过程是一个多次循环的过程。

决策的特点是人参与整个决策过程,决策过程的每一步都需要依靠决策者和专家的知识、经验和胆识。决策的正确与否依赖于基本情况和基础数据的全面性、完整性和可靠性,依赖于系统分析人员的技巧,也依赖于决策者的素质和胆识^[30,45]。

但是对所有的决策分析来说,与所提出的决策问题有关的预期结果,通常是近似的、粗略的。这是因为每个人对于决策未来事件的能力总是不完美的、不完全准确的。对决策问题的了解,很大程度上依赖于人们的认识活动(水平和努力程度),它往往与研究物理现象中经常见到的那种条理清楚的因果关系的情况很不一样。应该认识到不同程度的不确定性,常常是与决策环境相联系的,采用经常用于统计不确定性的一些方法是适宜的,其关键是确定估计值的合理范围。

4.1.2 决策的类型

决策分析系统的种类有很多按不同的标准有不同的分类可以按决策的内容和层次,决策的重复程度,决策的问题和条件等标准进行分类。

(1) 按内容和层次,可分为战略决策和战术决策。战略决策涉及全局和长远方针性问题,而战术决策是战略决策的延伸,着眼于方针执行中的中短期的具体问题。

(2) 按重复程度,可分为程序性决策和非程序性决策。程序性决策指常规的、反复发生的决策,通常已形成一套固定的程序规则;非程序性决策不经常重复发生,通常包

含很多不确定的偶然因素。

(3) 按问题和条件, 可分为确定型, 不确定型和风险型决策^[46]。

4.1.3 决策的准则

引起决策难题的因素有决策方案中包含有不确定因素; 决策方案中包含有矛盾后果; 决策问题本身过于复杂。

解决决策问题的准则有期望值准则; 等效价值准则; 偏好度准则等。对于利益和风险, 很多人会持这样的态度: 当涉及收益问题的博弈时, 他们往往表现为风险厌恶, 但当涉及损失问题的博弈时, 他们却表现为风险追求。

通常遇到的决策问题常常包含有多种因素, 在不同的情况下, 决策者会将注意力集中在不同的因素上。因此, 对同一个问题可以有多种不同的表示方式。而不同的表示方式会触发起人的不同灵感, 做出不同的选择。行为决策理论和心理学文献中包含有大量的例子说明人们如何根据对问题的不同表示方式, 而对相同的决策问题做出不同选择的。因此, 需要掌握一些更普适的决策原则, 来消除人们因接受简单的局部的逻辑原则引起的误解^[47]。

4.1.4 决策的步骤

决策分析是一个动态系统的反馈过程, 有一定的客观规律性科学的决策^[48,49]。分为五个步骤, 分为识别问题、设计目标、拟定方案、评价分析、优化方案, 如图 4.1 所示:

(1) 识别问题: 决策分析最终目的是解决问题, 识别问题是解决问题的前提, 要善于识别问题, 分析问题, 就要深入调查研究。只有熟悉了解决策分析系统的实际情况, 按照确定目标收集、整理有关信息资料, 才能发现实际状态与规划标准要求的差距, 找出问题关键。要分析问题的性质、特点、范围、背景和条件等; 要进一步分析问题的产生的原因, 由表及里, 去伪存真, 在错综复杂的因素中抓住主要矛盾, 找准问题症结, 才能提出解决问题的办法和方案。

(2) 设计目标: 决策目标是在一定的环境和条件下, 决策系统所期望实现的结果, 是决策分析过程中拟订方案、评价方案和选择方案的基准。在决策分析中至关重要, 既是决策的出发点, 也是决策的归宿, 缺乏明确的目标, 无法拟定和选择方案, 也无法判定问题是否解决。确定决策目标, 要注意: ①目标的针对性, 要把握决策系统的本质属

性和内在规律。针对解决问题的关键和要害提出目标；②目标的准确性，目标的层次性。社会系统均具有一定的层次结构关系，各层次的子系统或元素之间相互关联，相互作用，以特定的目标协调运行，决策分析系统的目标也具有相应的层次结构，这种关系或是序列性的从属关系，或是非序列性的相关结构关系；③目标的相关性，复杂的社会系统各目标之间往往存在某种程度的相关关系，容易导致综合评价的失真和偏颇，应当采取相应的技术处理措施，在保证主要信息的条件下，是决策目标之间型和独立。

（3）拟定方案：决策方案是实现目标解决的方法和途径，拟定方案是一个十分细致而又富于启发性的创造过程，需要精心设计，并且能够勇于创新。要仔细推敲、反复核算、严格论证，在路网规划中尤其要重视可行性研究。

（4）评价分析：评价分析就是根据决策目标和评价标准运用科学方法和有效手段对拟定的可行方案进行比较分析，筛选排序，从中挑出一两个比较满意的方案进行最后抉择。根据可行方案的价值大小、费用高低及风险特性等要素分析评价，在评价分析过程中，根据分析结果进一步提出修正方案，对于决策目标的不合理因素，经过反馈需要做出适当的修改，并据此进一步修订方案。评价方案、反馈信息、修正目标、修订方案经过多次循环反复，直到各可行方案优劣排序已经比较清楚时，才能中止评价分析步骤。

（5）确定方案：经过识别问题、设计目标、拟定方案、评价分析四个步骤，根据决策准则和评价标准，在各方案的比较分析的基础上，全面权衡各个方案的优劣、利弊、得失、好坏，最终由决策者确定最佳的可行方案。

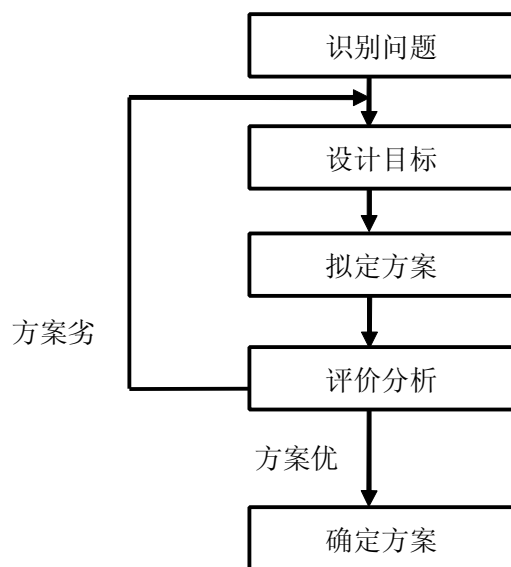


图 4.1 决策分析流程图

Fig.4.1 Flow chart of decision analysis

4.1.5 决策分析研究的问题

决策分析将有助于对一般决策问题中可能出现的下面一些典型特征进行分析。

(1) 不确定性

许多复杂的决策问题都具有一定程度的不确定性。从范围来看,包括决策方案结果的不确定性,即一个方案可能出现多种结果;约束条件的不确定性;技术参数的不确定性;等等。从性质上看,包括:概率意义下的不确定性和区间意义下的不确定性。概率意义下的不确定性又包括主观概率意义下的不确定性(亦称为可能性)和客观概率意义下的不确定性(亦称为随机性)。它们的区别在于前者是指人们对可能发生事件的概率分布的一个主观估计,被估计的对象具有不能重复出现的偶然性;后者是指人们利用已有的历史数据对未来可能发生事件概率分布的一个客观估计,被估计的对象一般具有可重复出现的偶然性。随机性和可能性在决策分析中统称为风险性,区间意义下的不确定性一般是指人们不能给出可能发生事件的概率分布,只能对有关量取值的区间给出一个估计。

(2) 动态性

很多问题由于其本身具有的阶段性,往往需要进行多次决策,且后面的决策依赖于前面决策的结果。

(3) 多目标性

对许多复杂问题来说,往往有多个具有不同度量单位的决策目标,且这些目标通常具有冲突性,即一个目标值的改进会导致其他目标值的下降。因此,决策者必须考虑如何在这些目标间进行折中,从而达到一个满意解(注意不是最优解)。

(4) 模糊性

模糊性是指人们对客观事物概念描述上的不确定性。这种不确定性一般是由于事物无法(或无必要)进行精确定义和度量而造成的,如“社会效益”、“满意程度”等概念在不同具体问题中均具有一定的模糊性。

(5) 群体性

群体性包含两方面的含义:

1) 一个决策方案的选择可能会对其他群体的决策行为产生影响,特别像政府决策,会对各层次的行为主体产生影响;企业一级的决策也会对其他企业产生影响。因此,决策者若能预计到自身决策对其他群体的影响将有益于自身的决策。

2) 决策是由一个集体共同制定的,这一集体中的每一成员都是一个决策者,他们的

利益、观点、偏好有所不同，这就产生了如何建立有效的群决策体制和实施方法的问题。

4.1.6 决策的心理模式

决策模式是决策方法的升华和概括，它规定着制约着决策方法。只有正确把握了心理决策模式，才能准确运用各类心理决策方法^[50]。

(1) 心理决策模式的依据

人们在强调决策科学化的时候，往往把决策科学化完全等于决策理性化。人们往往依据这种理性模式对决策者的主观素质提出了近似理想化的要求，并据此探求决策的原则、原理、程序和方法。但是在实际运用中，理性模式遇到了许多实际困难。诸如：决策者的知识和能力是有限的；收集到的信息往往是有限的；决策者受决策时间因素的制约；决策者受人体精力制约；决策者的目标和价值取向具有多维性、变动性和模糊性，难于符合科学决策的精密要求。

这些因素制约着理性决策模式，使之显现出明显的弱点，不可能做到决策都是理性的。为此，一些以心理决策模式为主的非理性决策模式应运而生，它们弥补着理性决策模式的不足，会使决策更加符合实际，更有成效。这些非理性决策模式主要有权变决策模式、模糊决策模式、渐进决策模式等。

(2) 心理决策的模式

1) 权变决策模式

权变决策模式的基本观点是有效的领导决策并没有固定不变的“最好”的原则和方法，而是具体情况具体分析，要随着情况的发展变化，不失时机地、因时、因地、因人、因事制宜地做出处理，原则性与灵活性的巧妙结合，取得最佳的决策效果。

2) 模糊决策模式(大事精明、小事糊涂)

决策者在所处理的决策问题中，许多是具有明确的两极性，如正确与错误、是与非、合理与不合理、合法与非法、可管与不可管等，打个比方说，这是红灯与绿灯。但在明确的两极性中间，有一个广阔的中间地带，既有正确也有错误，既有是也有非，既有合理也有不合理，既有合法也有不合法，既有可管因素也有不可管因素。形象地说，这是红灯和绿灯中间的黄灯。这就是说，决策活动由过去的那种非此亦彼的确定性决策，转为越来越多的亦此亦彼的不确定性决策。这样一来，在决策活动中，有时精确处理是最佳方案，有时模糊相处理则是最佳方案，有时坚持原则是最佳方案，有时做必要的退让、

拆中是最佳方案。

3) 渐进决策模式

渐进决策模式是由美国林德布洛姆提出来的，是指决策者在进行决策活动过程中，要在现有决策的基础上，采用渐进的方式对现行决策加以修改。通过一连串小小的改变，在不引起大的心理震动的前提下，逐步实现决策目标。

4.2 高速公路出行选择行为决策分析

4.2.1 出行选择行为决策的内容

在高速公路系统中，把一次出行分为出行前、出行中和出行后，则出行前的出行选择行为具体包括：是否出行的选择，出行时间的选择，出行目的地的选择。这些选择的决策并不是完全独立进行的，各决策之间存在着相互制约，其决策结果用来制定活动计划表，并在出行过程中执行这个计划表。高速公路出行中的决策主要是出行路径的选择，出行后的决策主要是是否再次出行的选择。具体如图 4.2 所示。

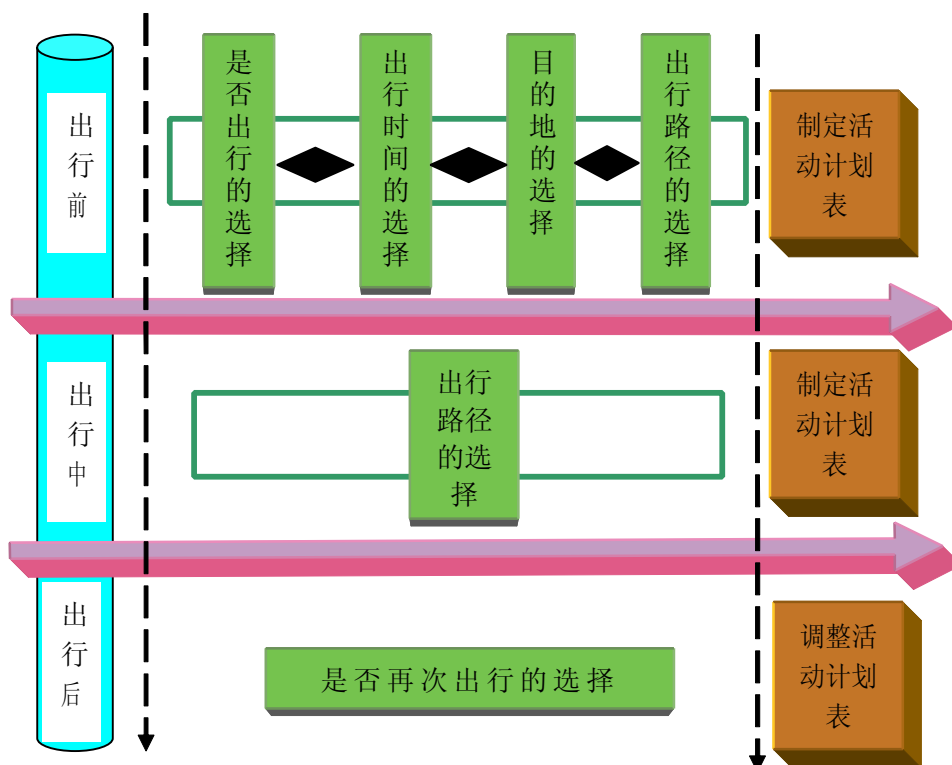


图 4.2 出行选择行为内容

Fig.4.2 Content of trip choice behavior

4.2.2 出行选择行为决策的分类

出行决策可以分为长期决策和短期决策^[26]。出行的长期决策的形成是由于该城市的经济、社会条件、当地的风俗、传统、当地交通行业的服务水平等长期因素造成的，当地居民在社会风气、传统习惯的熏陶下形成的一种固定的出行思维，其表现形式就是出行偏好，也就是说偏好是长期决策形成的一种定势思维，一种习惯。当出行者遇到出行决策问题时，出行者的出行偏好就会立即出现在出行者的脑海，如果该出行偏好满足出行者的时空约束，出行者会选择该偏好，在这种情况下，出行者的偏好对出行者的决策起到了很好的引导作用。并且，在活动结束后，如果出行一切顺利，则这次出行会加强出行者对于该出行偏好的忠诚度；如果出行并不顺利，例如未按时到达、或者道路拥堵时间较长，则会降低出行者对于该出行偏好的忠诚度。

出行的短期决策是指出行者在出行当天，面对具体的出行选择问题而做出的决定。出行的短期决策与出行当时的环境（例如天气、温度等）、出行心理、出行时间、出行目的、是否有人陪同等等因素相关。

偏好直接作用于出行的短期决策。长期决策、短期决策、偏好三者的关系如图 4.3 所示：

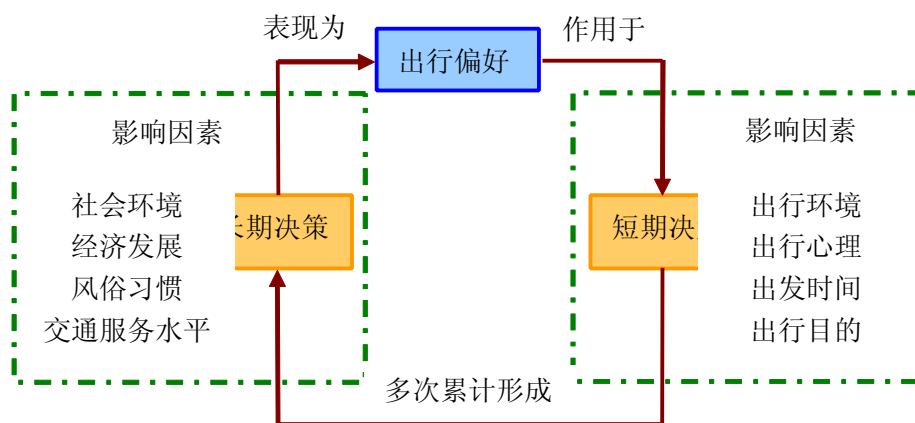


图 4.3 长期决策、短期决策与偏好三者的关系

Fig.4.3 Relation among long-term decision-making, short-term decision-making and the preference of decision-makers

4.2.3 出行选择决策的过程

人的大脑可以简单的看作为一个信息加工系统，一个信息加工系统有三个重要组成

部分：一个是记忆，一个是能够执行一组特定操作的加工单元，还有一个是使信息进出这个系统的通道——输入和输出（IO）机制。记忆系统是保持信息的场所，加工器是系统的真正执行操作的部分，一般来说，加工器控制和执行着这个系统的活动。加工器遵循存储在记忆系统中的指令，进行它的工作，完成某种特定活动的指令序列，在遵循一个程序时，加工器可能还需要一些附加信息，这些信息或者通过记忆系统的适当搜索，或通过到环境中去找寻信息^[51]。

类似于人类的一般决策过程，当出行者有活动需求时，首先会搜索自己是否有类似的出行情景（判别标准主要为出行目的、出行目的地、出行时间等方面是否类似）。如果存在，则查找该出行情景所对应的偏好模式（包括出行的时间偏好、交通方式偏好、出行路径偏好等），并判断该偏好模式是否满足当时的时空约束。如果满足，则根据偏好模式形成出行方案；如果不满足，则根据效用最大化来进行决策，制定出行方案；如果不存在类似情景，则同样根据效用最大化来制定出行方案。制定方案后，根据方案进行出行，出行结束后对出行情况进行评价，积累出行情景库，并增加偏好的忠诚度，其流程如图 4.4 所示。

当在出行情景库中找不到类似出行情景时，出行的决策是非常复杂的，它包括许多内容，比如时间、目的地、出行方式、路径等，每一个单项的选择又包含很多的选择项，有时甚至是无穷集合。而决策主体，通常情况下无法感知所有可选项，从而完整地理解选择枝并能区别相似的选择枝，因为，人脑只有处理这种复杂选择过程的有限能力。同时，收集所有关于决策的信息需要花费大量的精力和财力，由于受到经济能力的约束，决策主体只能在一个不完整的选择集里做出选择，特别是当选择集很大时。这个决策过程可以分解为两个子过程：

- （1）选择集产生：在全集中产生可选集；
- （2）做出选择：在可选集中做出唯一选择。

这两个子过程之间的关系可以是协商关系，也可以是反馈关系。所谓协商关系是指在做出选择前，已经对所有的选项作了完整的评估，只需一次性地做出选择即可；而反馈关系则是在做出选择前，有部分选项的评价依赖于选择的结果，这样就不能一次性的完成选择而需要不断反馈^[24]。

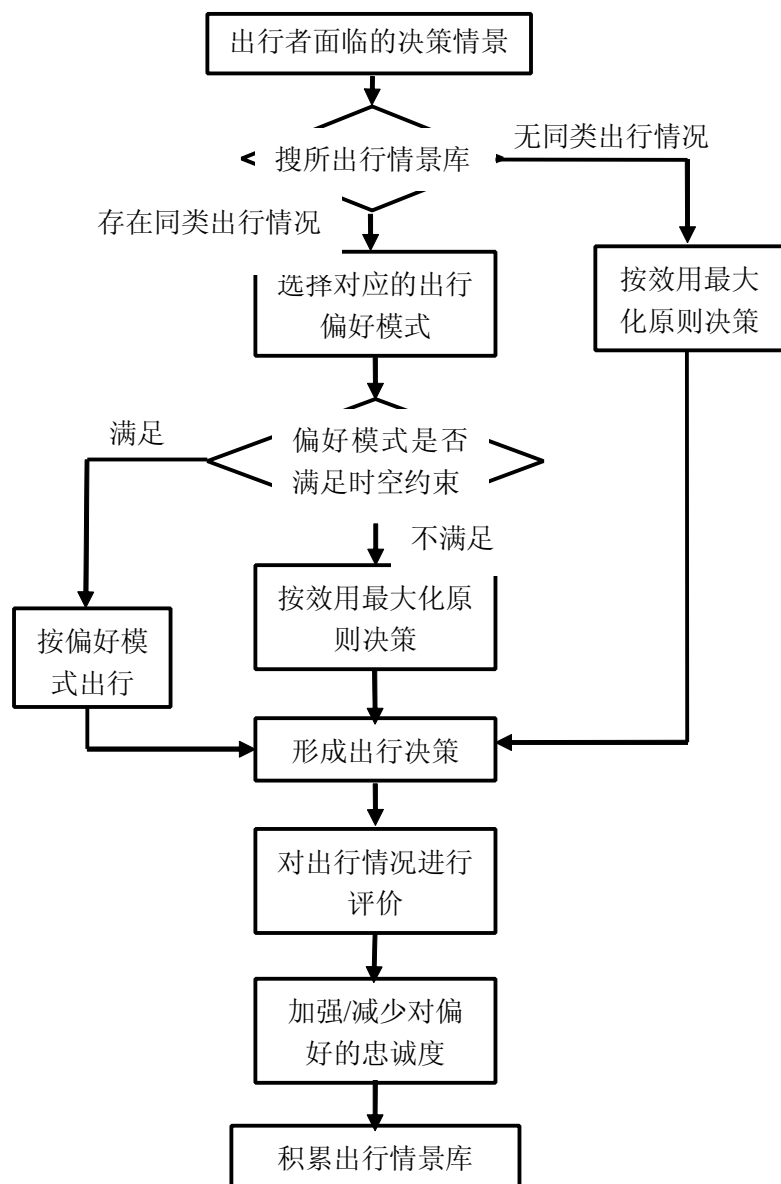


图 4.4 出行决策流程

Fig.4.4 Trip decision-making process

4.2.4 高速公路出行者行为决策分析

出行行为的决策是出行者为实现其出行目的，按照其出行费用（包括时间价值和费用价值）的期望值。在各种环境约束下，结合自身的条件、交通运输的状况及经验，对出行的时间、路线、方式、费用进行分析判断，选择满意方案的过程。

出行决策的影响因素主要表现在：出行心理、出行特性及出行环境^[52]。由于个体特性的存在，出行者的出行心理不同，对交通方式和出行路线的选择也有所不同。出行特性，即出行目的、时间等差异，使出行者对出行的期望值也有所不同。出行环境中不同

路线、不同交通方式，在时间、费用、安全及服务水平等方面，影响着出行者的出行行为决策^[31,53]。出行心理对出行行为决策的影响如图 4.5 所示。

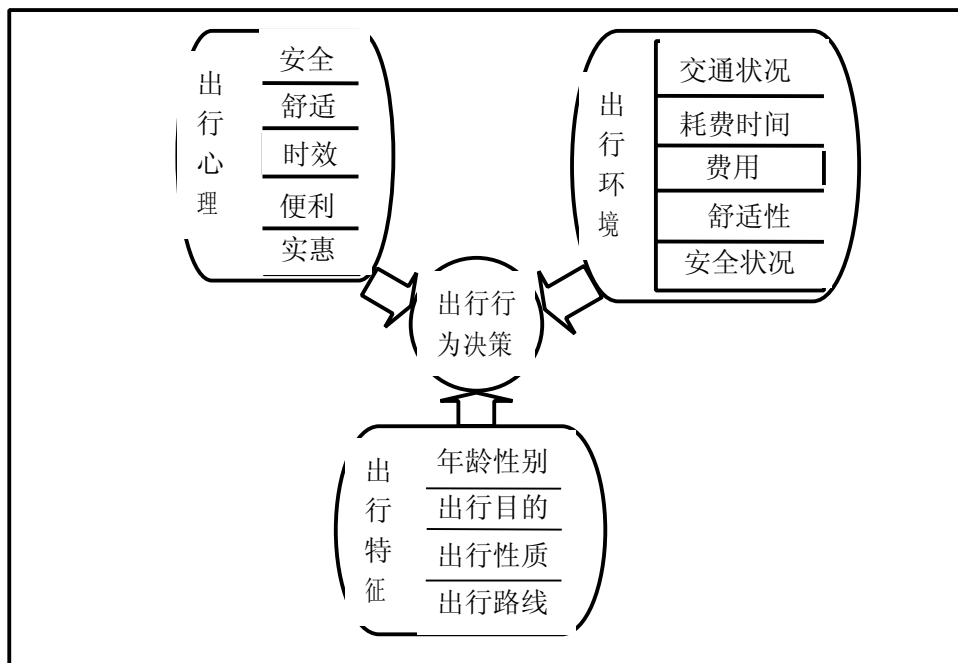


图 4.5 出行心理对出行行为的影响关系图

Fig.4.5 The impact of the relationship between trip psychological and trip behavior

出行者的出行行为受到出行心理和外界环境的共同影响，是人内心活动的外在表现，其中占主导作用的是出行心理。因此，研究高速公路出行者的出行行为，重点在于研究出行心理。在高速公路网中，出行者必须对路径选择进行决策，而出行心理表现为对交通路线的安全、经济、迅速、方便、舒适程度及服务质量等方面进行比较，最后进行决策。可见，出行者会从时效性、便利性、经济性、愉悦性和就近性几方面对各种交通路径进行权衡，以获取最大的心理满足为决策的依据。

一般而言，出行者在选取某条路径时，总会在费用和时间中进行权衡，以费用获取时间或以时间赢得费用。当对某条路径的效益及舒适性表现出一定的期望，若这种期望值一时不能满足需求，出行者就宁愿付出额外代价来谋求另外的交通路径以平衡自己的心理。

经济性方面则希望花费最少，经济效益最大，即： $\min M = CX$ 。式中 X 是指出行者所付出的费用，包括车路费、汽油费以及出行占用时间价值成本。

高速公路出行者对出行行为做出的反应是指用户由于道路条件或交通条件的改善，为了获取个人的最大出行效用(包括出行距离及时间的减少、出行费用的降低、出行安全

及舒适度的提高等), 从而对出行起止点、出行路径、出行时间、出行方式、出行频率等发生的改变。出行行为产生的前提必须是路网条件的改善(新建公路或旧路改造)改变了现有的出行条件。

高速公路出行者由于道路交通条件的改善而做出的出行行为反应是不同的。有的反应非常迅速, 这是因为出行者在过去的出行过程中曾经经历过这种交通条件的变化; 有的则反应缓慢, 这是由于出行行为的选择需要用户不断的积累个人经验, 而且有些出行信息的获取本身就需要一段时间的积累。

任何路网上的交通需求都不是事先确定的, 因为每天数以万计的人们都会做出各种可能的选择, 每个人都在不停的思考将去哪, 怎么去, 何时去、走那条路。但是这些决策都是一个人出行效用最大化为前提的。

对于出行者来说, 无论出行目的如何, 在出行前通常都会做一些选择:

- 是否需要出行(出行生成)
- 为有效实现出行目的, 应选择去往何处(出行分布)
- 何时出发(选择出行时间)
- 选乘怎样的交通工具(交通方式选择)
- 选择何种出行路径(交通分配)
- 希望多久出行一次(出行频率)

在实际的出行中, 出行决策要比上述所列举的选择复杂的多, 每一种单独的选择方式还会相互作用相互影响。例如: 选择何种出行交通工具就取决于目的地的选择, 并与出行路径有关。

结合国内外的研究资料, 给出最优路径评价指标体系如图 4.6 所示。如何协调好各种选择标准, 提出一种有效的最优路径选择方法是一个值得研究的问题。

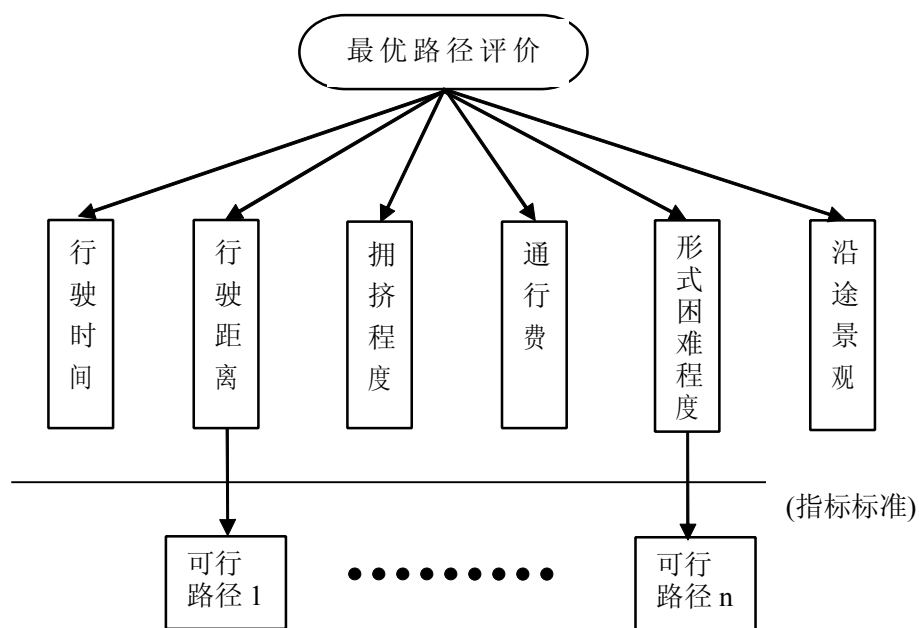


图 4.6 最优路径评价指标体系

Fig.4.6 Optimal route evaluation index system

5 高速公路出行路径选择行为调查及模型分析

5.1 高速公路出行行为调查-SP 调查

SP 调查^[54] (stated preference survey) 作为行为调查的重要分支, 具体是指人们为了获得“对假定条件下的多个方案所表现出来的主要偏好”而进行的意愿性调查。SP 调查方法虽然在国外已经得到广泛的使用, 但直到今天, 在我国交通领域仍然鲜有应用, 因此, 本次研究中, 结合出行行为理论, 拟采用 SP 调查方法, 以获得必要的数据。

在交通 SP 调查中, 根据实际问题和专业经验确定需要调查的项目(选择变量), 并根据实际问题设各项目的多种可能取值(水平)。将选择变量及其水平组成各种情境, 再由这些情境组成备选方案, 让被调查者以评分、等级排序或离散选择的方式估计、判断其对各备选方案的整体偏好。通过这种方法, 能够基本掌握各变量对被调查者所做选择产生影响的重要程度。因此, 交通 SP 调查具有更加灵活的性, 能处理多个变量。特别是在同样的调查成本情况下, 每个被调查者提供出关于选择变量的多个答案, 即同一变量在不同的水平条件下, 给出不同选择, 这种调查能大大提高效率、节省费用。在此过程中, 常利用数学原理设计 SP 调查表来减少甚至消除各变量之间的相互依赖性, 以得出合理的调查问卷。

5.1.1 SP 调查的原理

在 SP 调查中, 以事先确定的属性(或因素)及其水平组成各种情境, 再由这些情境构成备选方案, 供受访者以评分、等级排序或离散选择的方式评估其对各选项的整体偏好。通过这项技术, 研究人员可以掌控一切影响受访者选择的变量, 这就能够为受访者提供更加广泛的选择属性, 这些属性可以包括政策措施以及现实中出现的各种新生事物等。在此基础上利用数学原理设计出 SP 调查情境去减少甚至消除属性之间的相互依赖性。因此 SP 调查具有更加灵活的特性, 能处理多个属性^[54-56]。SP 调查总体构架图(如图 5.1 所示):

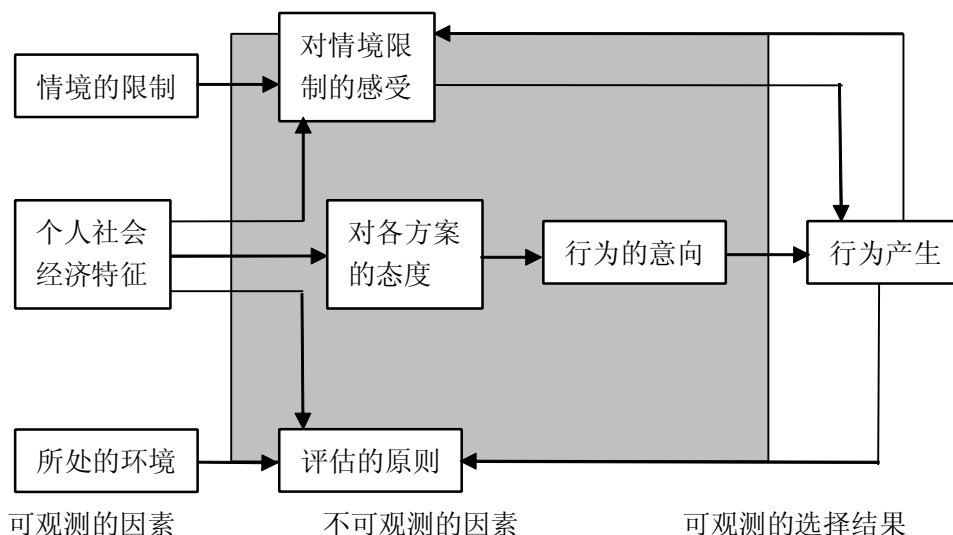


图 5.1 SP 调查原理构架图

Fig.5.1 The sketch map of SP survey

5.1.2 SP 调查在交通领域的应用

从上世纪八十年代开始，交通领域的研究人员就已经开始采用 SP 调查方法。Steer 和 Willmusen(1981)以及 Sheldon 和 Steer(1982)分别发表了有关这项技术在交通行为研究方面的最早成果。接下来 Louviere 和 Hensher: (1983)关于 SP 技术文献的发表，使得 SP 技术得以在交通领域广泛应用，如图 5.2 所示：

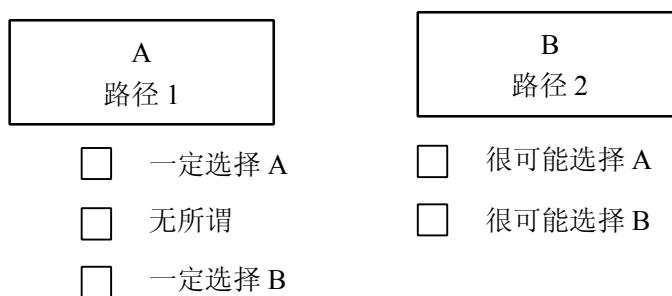


图 5.2 选择卡片例子

Fig.5.2 The example of SP card

5.1.3 SP 调查的偏好表述

SP 调查在以往半个多世纪的发展过程中，涌现出了各种不同的偏好表述方法，研究人员根据不同的研究目的，可以根据需要选用不同的调查方法。本论文中简要介绍如下：

(1) 对比法

要求受访者在一定范围内给每一个选项打分或给出其选择的概率，也可以将选择情况划定范围供受访者进行选择，通常在两者之间进行比较。根据自身的需要得到满意度、使用的可能性或者受访者的选择范围等(Bradley & Krraes, 1990)。其后续处理工作可能采用通常的算法比如计算平均值或比率。

(2) 等级排序法

该方法起源于应用心理学领域(Krantz 和 Tversky), Luovieer 于 1988 年将其应用于 SP 调查中。采用这种方法，直接为受访者提供所有选项，要求受访者按照本人的意愿，将这些假定的情境进行优先级排序，也就是将各选项的效用值按从高到低进行排序。该方法的主要优势在于所有选项一起提供给受访者，受访者可以对其进行比较分析；缺陷则是为了不引起受访者的疲倦，提高受访者的积极性以及回答结果的准确性，选项数量不宜过多。此外，该方法所获得的数据仅表明受访者的判断而非其在现实中的必然选择(Ortuzar 和 Willumsen, 1994)。

(3) 离散选择法

在离散选择法中，给受访者提供两个或多个选项，要求选择对于他们来说其中最优的一个。与上述的评分法和等级排序法相比，优点在于它更加接近于人们在现实生活中所遇到的抉择问题(Pearmain et al, 1991)。换句话说，评分法和等级排序法中提供的信息只表明受访者的“判断”，相对于根据人们的实际选择行为来说，它又并不太现实。然而，和离散选择法相比，排序法和对比法却能提供大量的数据信息以供研究人员进行科学的分析。

5.2 调查方案的设计

本研究采用 SP 调查，主要优势在于设计人员可以有目的地设定影响路径选择的因素，利用所设计的不同方案，了解居民的意愿性。以下介绍调查方案的设计过程。

5.2.1 方案设计原则

在交通 SP 调查中，可以从一个受访者获得多个数据，从而提高调查的效率(Efficiency)。另一方面，从受访者回答得到的多个数据可能与其实际行动并不一致，从而产生一定的偏差(Bias)，也即可靠性较差。因此，如何在方案设计阶段调尽可能地降低这种偏差出现的可能性，提高调查数据的可靠性，就成为调查设计人员面临的重要问题。国外的经验也表明，优良的调查方案设计可以有效促进数据可靠程度(稳定性)的提高，

在设计阶段，必须遵从一下原则：

(1) 可靠性原则

所选交通方式的属性数目及其水平的确定，必须能够比较客观地反映不同交通方式的特性，既能便于受访者做出选择，又能提高数据的可靠性。

(2) 合理性原则

方案设计的内容可以是真实或假设的情景，但必须保证其合理和现实性，以保证分析结果的正确性。

(3) 简明性原则

选项设计要求简洁、明了、易于理解且在受访者的经验范围内，使受访者能在尽可能短的时间做出确切的回答。

(4) 约束性原则

必须保持选项内容的现实性约束，让受访者根据自己的出行经历来表达嗜好，避免产生不切实际的反应。

5.3 SP 调查的方法

SP 调查要对研究的对象进行调查，主要有以下三种方法^[27]：

(1) 问卷调查法

通过高速公路出行者对预先拟定的问题进行的回答，把质量性质的问题用数字量化后表示出来，从而了解了出行者的出行需求和态度。使用这种方法的关键是合理地设计测量表。调查问卷一般由能从各个主要方面反映出行者的需求和态度问题构成。也可以根据一个问题的多个侧面进行问题的设计，用以校验测量表的信度。

(2) 自由反应法

通过自由反应方式了解高速公路出行者需求和态度中认知成分的一种方法，调查中一般采用面谈方法进行。面谈即调查人员和受访者面对面地交谈。交谈形式可以是问答式、谈论式。但调查人员不能暗示受访者回答，应该让受访者在没有任何约束的状态下自由地回答问题。在实际高速公路调查中，一般是对调查过程中有着重要程度的问题进行调查。

(3) 现场观察法

利用出行需求、出行态度和出行行为三者相互关系，通过各种场合直接观察出行者的行为表现，用以判断出行者需求和态度的一种测量方法。观察的地点可以在高速公路收费站、高速公路出入口匝道等，与考察问题相关的地点。现场观察法可以增强调查人

员的感性认识，但其所得的资料往往因为难以准确的定量分析，故应结合其它方法使用。

5.4 SP 调查方法的主要特征

SP 调查方法主要有以下几个特点：

- (1) 调查以出行者对不同假设条件反应的推断为基础的；
- (2) 每个方案包含不同的特征集合，如出行时间、价格、可靠性等；
- (3) 研究者构造这些假设方案以便估计每一属性的个体效果，它也可以用实验设计技术来实现，但须保证对特征集中各特征项的变化统计上相互独立；
- (4) 研究者要使被调查者能够理解给定的方案，且具有现实合理性，并与他们的经验相关；
- (5) 被调查者可以通过按吸引力分等方式或通过表明喜好强度的刻度值来说明他们每一方案的喜好，或干脆在两个或多个方案中选择最喜欢的方案。
- (6) 通过分析个体给出的反应来得到每一属性相对重要性的定量值，许多情况下，选择模型可以作为这种分析的一部分来估计。

5.5 高速公路出行路径选择行为调查表设计

调查表的形式因选择现象、调查目的的范围以及调查方式等条件的不同而不同。为此，几乎不可能对所有的调查表设计方法做详细地论述。应当意识到调查表设计的好坏直接影响到调查的精度^[54]。在设计调查表时应当先了解如下事实：

- (1) 被调查者对回答的内容不负任何责任。
- (2) 尽管被调查者可能会给予合作，但是在回答问题时难免会带着被添麻烦的心情。因此适当考虑赠送小礼品作为奖励。
- (3) 尽管有些问题得到了答案，但如果回答者曲解（或不理解）调查者的意图，那么有些回答也将是毫无意义的。
- (4) 调查后发现回答是否存在错误，特别是对于概念的错误表达和需要被调查者发挥的回答，只要不与其它的答案产生矛盾就很难发现。
- (5) 很有可能会由于一个问题设计的不够完善而带来的缺陷导致调查结果无法使用。
- (6) 被调查者可能根本不阅读问卷的说明和填写例题，因此不需要在调查问卷中仔细讲解填写方法。尽量要使问卷简明化。

(7) 不要过于相信被调查者的理解能力。有的被调查者可能没有受到过良好的教育，应当按照最低理解力水平，使用最简练的语言，设计最容易理解的问题。

(8) 避免出现可以有多种解释的问题，尽量避免使用专业术语，特别是与通常的意义不同的术语。

(9) 根据思考的基本过程设置问题的顺序，将更容易得到正确的数据。反之，人们容易对意义跳跃的问题失去回答的兴趣，从而导致调查者不认真回答问题。

(10) 应当尽量减少题目。特别是不要一开始就给人造成“太麻烦了”的感觉，以致使调查者产生抵触情绪，甚至拒绝回答。

综上所述，调查表应当满足尽量简洁、问题明确、语言通俗易懂，以及问题的顺序合理的要求。

鉴于上述三种调查方法和偏好调查理论，主要介绍调查方案的选取和调查表的设计等相关问题。本文主要是对高速公路使用者进行调查，问卷主要涉及出行者的性别、年龄、身份、经济状况、文化程度、出行目的等和影响出行者出行路径选择的因素。由于本次研究时间较短，间接决定了数据收集阶段需要的时间和人力投入不能较大，本次调查尽量避免实际中将大部分时间花费在数据收集，而是侧重分析、有效性检验。

根据以上所述，高速公路出行者路径选择行为调查表的设计如下：

表 5.1 高速公路出行者路径选择行为调查表

Table 5.1 The questionnaire about highway traveler's route choice behavior

为了更好的了解高速公路网的使用情况，更好的为大家提供优质的服务，山东科技大学特对此进行调查，请您配合，谢谢！

1.您的性别： <input type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女				
2.您的年龄： <input type="checkbox"/> 20 岁以下 <input type="checkbox"/> 20-35 岁 <input type="checkbox"/> 35-50 岁 <input type="checkbox"/> 50-60 岁 <input type="checkbox"/> 60 岁以上				
3.您的文化程度： <input type="checkbox"/> 初中以下 <input type="checkbox"/> 高中 <input type="checkbox"/> 大学 <input type="checkbox"/> 研究生及以上				
4.目前从事的职业： <input type="checkbox"/> 学生 <input type="checkbox"/> 技术人员 <input type="checkbox"/> 公务员 <input type="checkbox"/> 国企干部 <input type="checkbox"/> 商业人员 <input type="checkbox"/> 军人 <input type="checkbox"/> 工人 <input type="checkbox"/> 农民 <input type="checkbox"/> 其他				
5.您的月收入： <input type="checkbox"/> 2000 元以下 <input type="checkbox"/> 2000-3000 元 <input type="checkbox"/> 3000-4500 元 <input type="checkbox"/> 4500-6000 元 <input type="checkbox"/> 6000 元以上				
6.出行的性质： <input type="checkbox"/> 公费 <input type="checkbox"/> 私费				
7.出行的目的： <input type="checkbox"/> 出差 <input type="checkbox"/> 旅游 <input type="checkbox"/> 探亲访友 <input type="checkbox"/> 其他				
8.您出行使用高速公路的频度： <input type="checkbox"/> 每次都选择 <input type="checkbox"/> 经常 <input type="checkbox"/> 偶尔				
9.假设在高速公路出行中，有多条道路可以选择，请问您首先考虑的因素是什么？ <input type="checkbox"/> 安全 <input type="checkbox"/> 快速 <input type="checkbox"/> 方便 <input type="checkbox"/> 舒适 <input type="checkbox"/> 经济 <input type="checkbox"/> 拥挤程度				
10.请给出以下几个因素的重要程度：				
	很重要	重要	不重要	不关心
安全				
快捷				
方便				
舒适				
经济				
拥挤程度				

5.6 调查说明

通过对山东高速公路交通流量的统计：近几年，小客车交通量以年均 0.29%的速度稳步上升，而大客车交通量则以年均 0.17%的速度下降，充分说明了随着公路建设和生活水平的提高，私家车数量猛增，小客车的需求量和利用率不断提高。高速公路

六类车型中平均所占比重约为：小货车占 9.97%，中货车占 12.22%，大货车占 13.29%，小客车占 37.05%，大客车占 10.61%，拖挂车占 16.86%。如图 5.3 所示。针对私家车个体性出行的日益增加，本论文主要调查研究轿车在高速公路网的运行情况，并对个体性出行行为做了一定得调查分析。

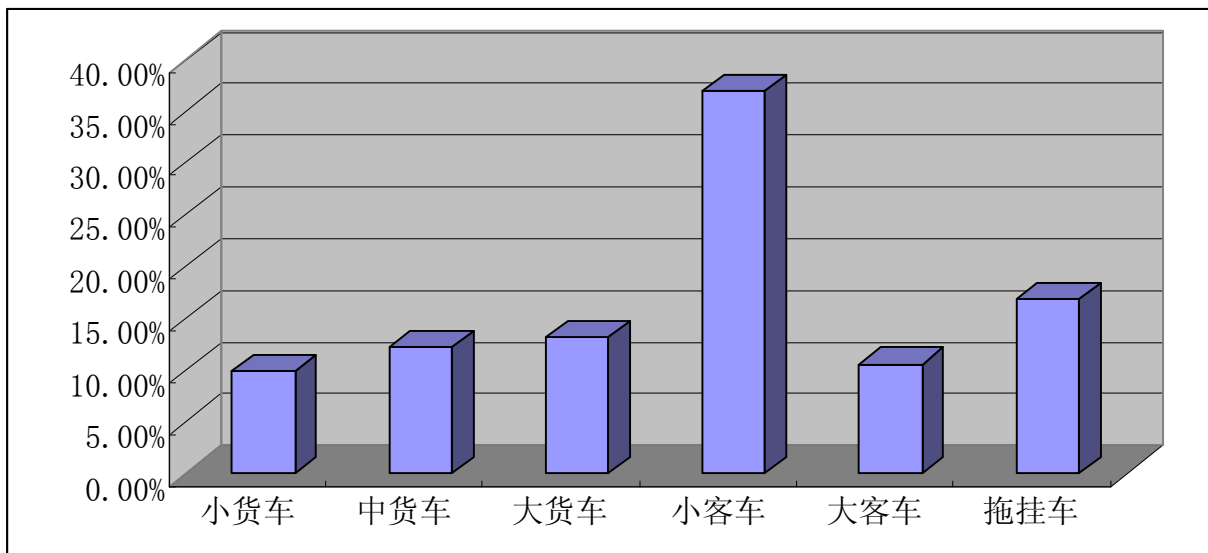


图 5.3 山东高速公路交通流量统计图

Fig.5.3 The flow of traffic statistic of Shandong highway

5.7 调查数据分析

我们于 2009 年 04 月，分别在山东科技大学、黄岛管家楼收费站、黄岛开发区长江路，对高速公路小轿车使用者基本情况进行了调查。

调查结果与初步分析如下：

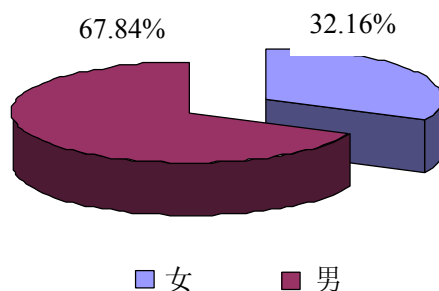


图 5.4 高速公路出行者性别统计

Fig.5.4 Gender statistics of highway travelers

由图 5.4 可以看出，高速公路出行者中，男性公民的高速公路出行明显多于女性，

是女性的两倍多。就目前的高速公路出行，男女的出行心理有所不同，导致出行有较大的差异。

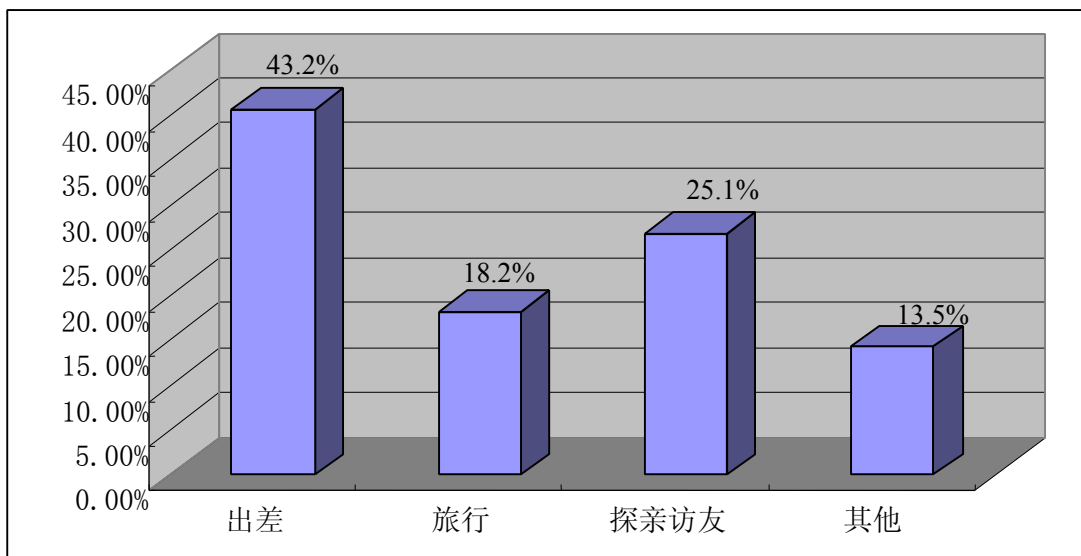


图 5.5 高速公路出行目的统计分析

Fig5.5 Highway trip purpose statistic

由图 5.5 可以看出，在高速公路出行过程中，出差出行所占的比例最大，其次便是探亲访友，接着是旅游，最后其他商业活动。不过，随着社会的迅速的发展，人们的消费意识也不断地提升，越来越多的人开始注重生活的品味，享受生活。所以，人们以后出行对路径的选择上会有很大的改观。在我们做调查的过程中，有 83.2%的人表示，生活水平提高后，每年会增加旅行的次数。

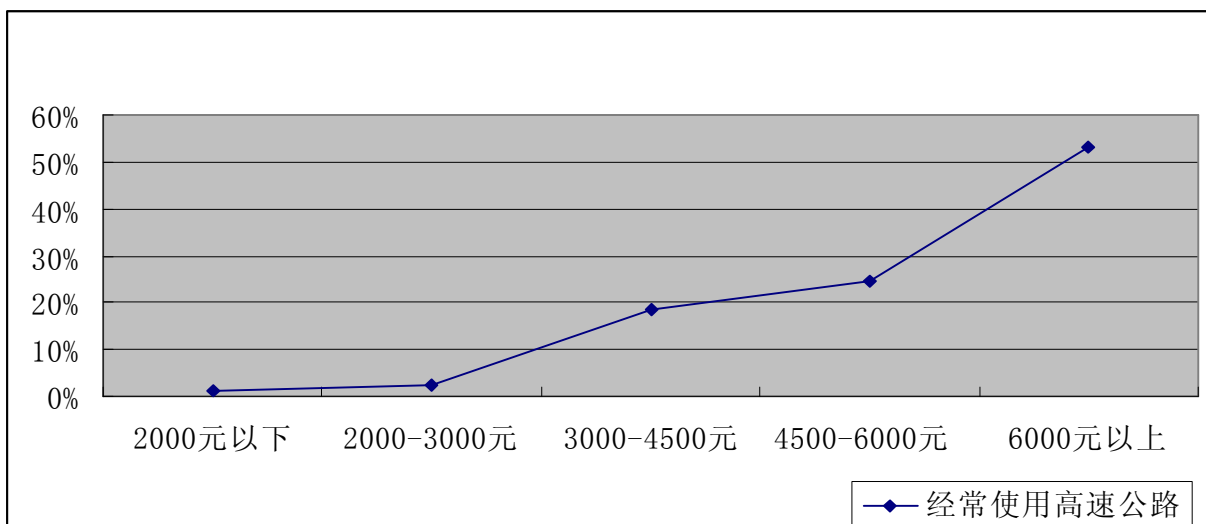


图 5.6 高速公路出行者经济状况统计分析

Fig.5.6 Statistical analysis of highway users' economic conditions

从图 5.6 中，我们可以清楚的看到，在使用高速公路的人群中，低收入者所占的比

例非常小,说明由于经济因素的制约,对高速公路的使用受很大的限制。

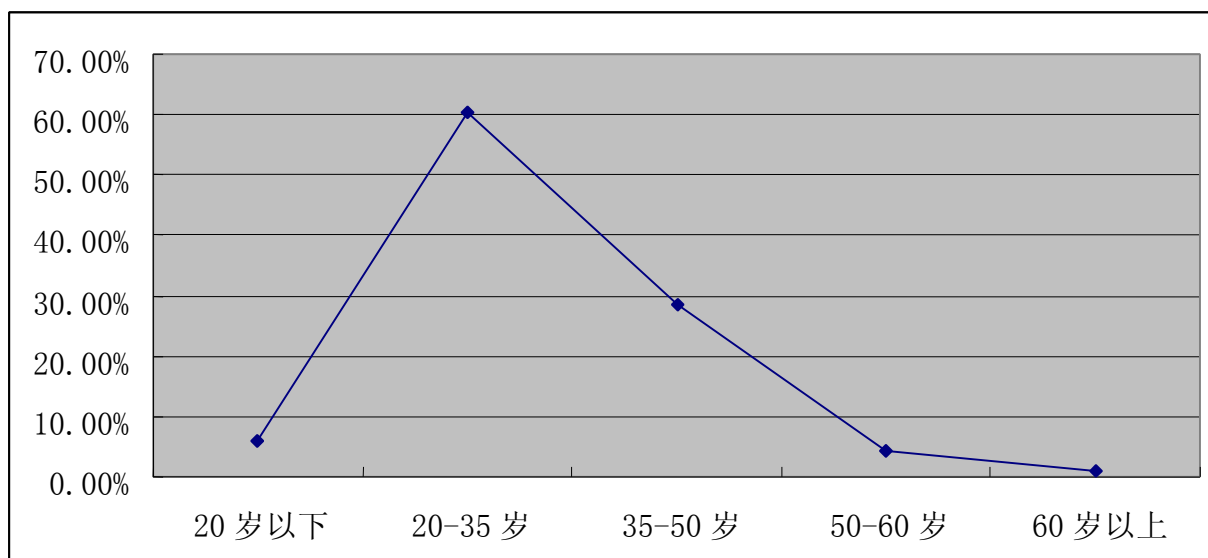


图 5.7 高速公路使用者年龄统计分析

Fig.5.7 Statistical analysis of highway users' age

由图 5.7 可知,高速公路使用者的年龄大部分集中在 20-50 岁之间,随着年龄的增大,使用高速公路的人越来越少,也充分说明:心理因素对出行行为有很大的影响。

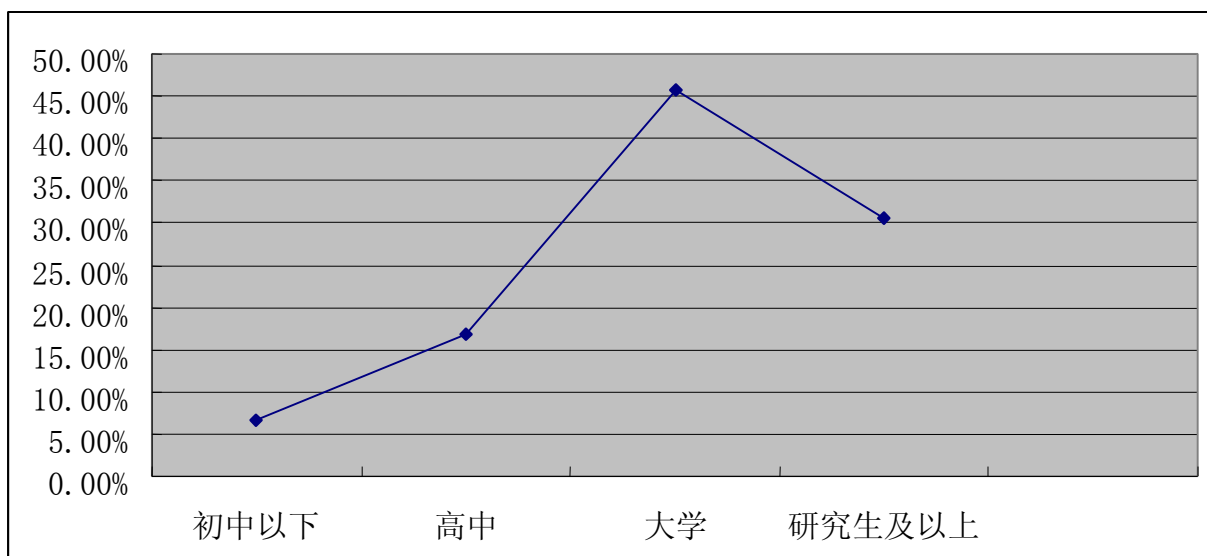


图 5.8 高速公路使用者文化程度统计图

Fig.5.8 Highway users' education statistic

图 5.8 的数据表明,选择高速公路出行的文化程度以大学为主体,占总体的 45.78%。由于本次调查主要是在山东科技大学周围做的调查,在一定程度上,可能会导致学历上偏高,不过,这次调查也具有一定得实际意义。总体上来说,还是比较符合现实情况的。所以,根据此数据,我们可以判断出,文化程度对人的出行行为具有一定的影响。

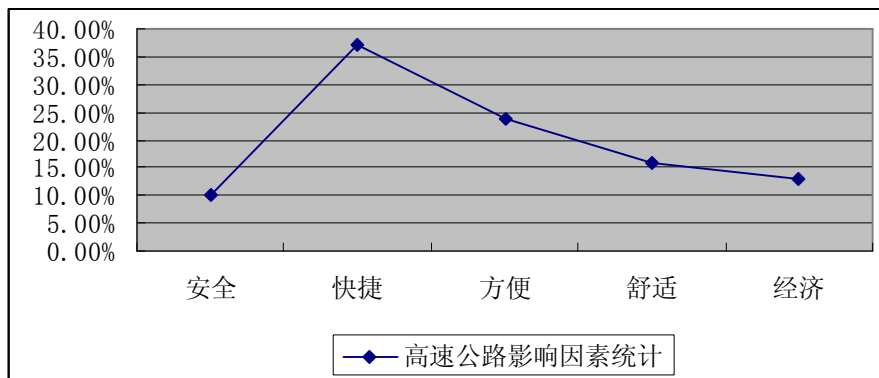


图 5.9 高速公路影响因素总统计图

Fig.5.9 Highway users' education statistic

说明：高速公路影响因素总统计是指：在所有的受访人中，以各个因素为主要考虑因素的统计。

在进行调查中，36.84%的人选择了快捷，作为他们出行使用高速公路的首要因素，其次，23.78%的高速公路使用者选择了方便作为第一因素，再次就是舒适和经济因素，最后是安全。近年来，虽然高速公路的交通事故不断地增长，交通安全也存在一定的隐患，但相对普通公路来讲，高速公路的事故率是比较小的，另外，高速公路的快捷方便性对出行者有着很大的吸引力。随着人民生活水平的不断提高，高速公路网的不断健全，高速公路必然是城市间出行的首选。

根据不同的出行目的的调查，发现舒适安全以及时间和方便性在各出行目的中具有—致性，因此将舒适安全合并，将方便性划到出行时间中，以下是各影响因素的统计：

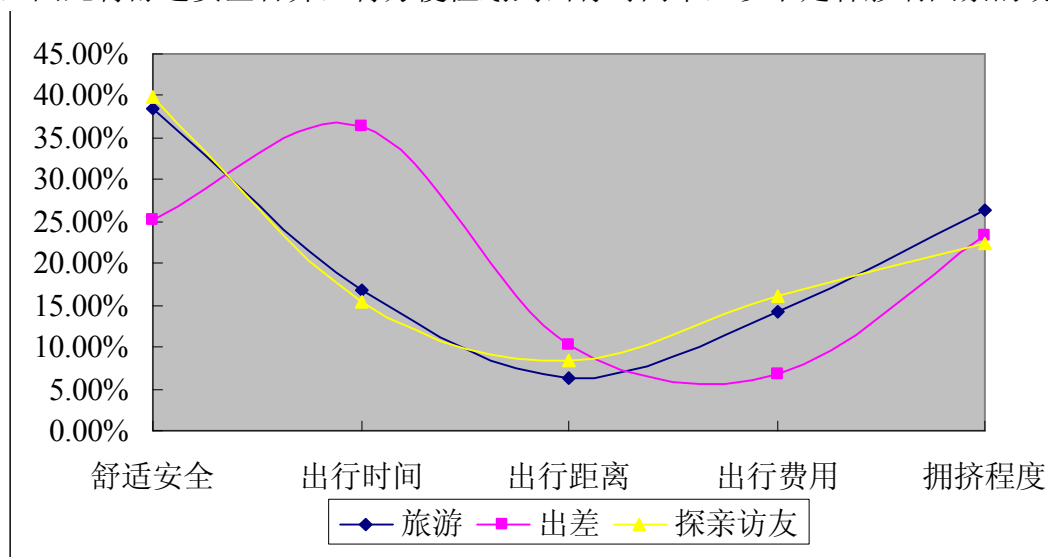


图 5.10 各种出行目的的高速公路出行因素影响统计图

Fig.5.10 Highway users' education statistic

从图 5.10 中可知，以探亲访友为目的的高速公路出行，与以旅游为目的的出行基本

上吻合，而出差出行与其他两种出行目的有明显的不同。这是因为人们在出差的时候，考虑最多的就是出行时间因素，高速公路的快捷性为出行者在出行时间上提供了可靠的保障。

5.8 层次分析法和灰色系统理论基础知识

5.8.1 层次分析法的基本原理

AHP(Analytic Hierarchy Process)方法又称为层次分析法或多层次权重分析方法，是20世纪70年代初期由美国著名运筹学家、匹兹堡大学萨蒂教授首次提出来的。该方法是将定量和定性分析相结合的多目标决策方法，能够有效地分析目标体系层次间的非序列关系，有效地综合测度决策者的判断和比较。由于其系统、简洁、实用，在社会、经济、管理等许多方面得到越来越广泛的应用^[50,57]。

(1) 递阶层次结构模型

应用AHP方法对社会、经济和管理领域的问题进行多目标决策，首先要把问题条理化、层次化，构造出能够反映系统本质属性和内在联系的递阶层次结构模型，在这种层次结构模型中，根据系统分析的结果，弄清系统与环境的关系，系统所包含的因素，因素之间的相互联系和隶属关系等，将具有共同属性的元素归并为一组，作为结构模型的一个层次。同一层次元素既对下一层次元素起着制约作用，同时又受到上一层次元素的制约，这样构造了递阶层次结构模型。AHP的层次结构既可以是序列型的，也可以是非序列型的。一般来说，可以将层次分为三种类型：

- ①最高层只包含一个元素，表示决策分析的总目标，因此也称总目标层。
- ②中间层包含若干层元素，表示实现总目标所涉及到的各子目标，包括各种准则、约束、策略等，因此也称为目标层。
- ③最低层表示实现各决策目标的可行方案、措施等，也称为方案层。

在层次结构模型中，相邻两层次元素之间的关系用直线标明，称之为作用线，元素之间不存在关系，就没有作用线。如果某一元素与相邻下一层次所有元素均有关系，则称此元素与下一层次存在完全层次关系。如果某元素仅与相邻下一层次部分元素存在关系，则称为不完全层次关系，在实际操作中，模型的层次由系数的复杂程度和决策的实际需要而定，不宜过多。每一层次元素一般不要超9个，过多的元素会给主观判断比较带来困难。构造一个合理而简洁的层次结构模型，是AHP方法的关键。如图5.11所示：

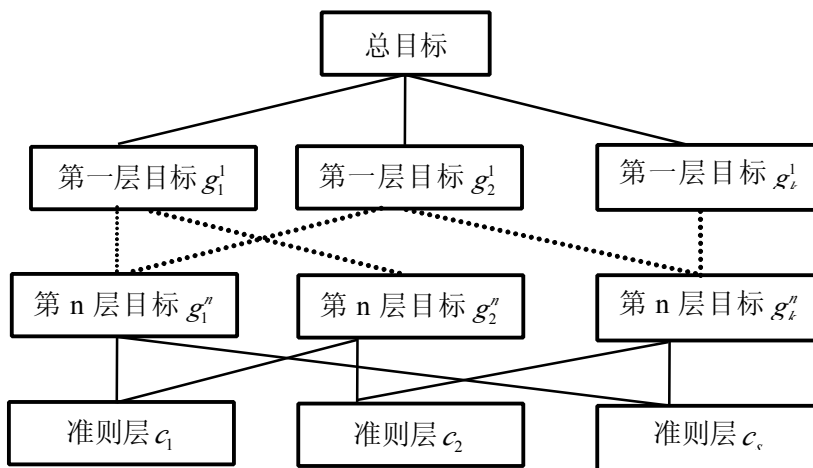


图 5.11 层次结构图

Fig.5.11 Hierarchical structure diagram

(2) 构造判断矩阵

构建了层次结构模型，决策就转化为待评可行方案的目标准则体系的矩阵构造问题。AHP 方法采用优先权重作为区分方案优劣程度的指标，优先权重是一种相对度量数，表示方案相对优劣的程度，其数值介于 0 和 1 之间。在给定的决策准则之下，数值越大方案越优，反之越劣。方案层各方案关于目标准则体系整体的优先权重，是通过递阶层次从上到下逐层计算得到的这个过程，称为递阶层次权重解析过程。

递阶层次权重解析的基础，是测算每一层次各元素关于上一层次某元素的优先权重，这种测算通过构造判断矩阵实现的，也就是以相邻上一层某元素为准则，该层次元素两两比较判断，按照特定的比例标度将判断结果数量化，形成判断矩阵并计算判断矩阵的最大特征值和对应的特征向量，以特征向量各分量表示该层次元素的优先权重，这种排序称为层次单排序。再以上一层次每个元素为准则，都按照上述过程进行层次当前排序，然后，进行组合加权，得到该层次元素相对于相邻上一层次整体的组合优先数值，这就是总排序。排序计算沿着递阶层次结构，从上到下逐层进行，最后，计算出方案层各方案关于整个目标准则体系的优先权重，完成了递阶层次权重解析过程。

构造判断矩阵的关键，是设计一种特定的比较判断两元素相对重要程度的标度法则，使得任意两元素相对重要程度有一定的数量标准。本文引用的是 EM 主观赋权法^[58]。该法采用五标度(-2,-1,0,1,2)数值来判断两个元素之间的重要性关系。如表 5.2 所示：

表 5.2 标度法则表

Table 5.2 Scaling law

标度	定义	含义
0	同样重要	两元素对某属性同样重要
1	稍微或明显重要	两元素对某属性，i 元素比 j 素稍微重要
2	强烈或极端重要	两元素对某属性，i 素比 j 素明显重要
-1	稍微或明显重要	两元素对某属性，j 素比 i 素强烈重要
-2	强烈或极端重要	两元素对某属性，j 素比 i 素极端重要

EM 主观赋权法符合人的认识规律，具有一定的科学依据，EM 主观赋权法反映了大多数人的判断能力，经过很多的试验，EM 主观赋权法则是可行的，根据 EM 主观赋权法就可以构造出判断矩阵。

构造关于准则 C_r 的判断矩阵，设有 m 个元素，将 m 个元素自上到下排成一列，自左到右排成一行，左上角标明准则记号，将各元素两两比较，按照上表形式给出相应的标度如下表所示：

表 5.3 判断矩阵列表

Table 5.3 the list of judgment matrix

C_r	A_1	A_2	...	A_j	...	A_m
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1m}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2m}
...
A_i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{im}
...
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mj}	...	a_{mm}

(3) 求最大特征值及特征向量

层次分析法的目标是确定若干因素间的相对重要性次序即权重，以下定理则是由判断矩阵来计算对应的权重的方法。

定理：设有因素 C_1, C_2, \dots, C_n 和目标 D ，记

$$C_{ij} = \frac{C_i \text{对目标} D \text{的影响}}{C_j \text{对目标} D \text{的影响}} \quad (5.1)$$

则得判断矩阵 $C = (c_{ij})_{n \times n}$ ，解矩阵 C 的特征方程

$$|C - \lambda I| = 0 \quad (5.2)$$

I 为单位方阵, 求特征值 $\lambda_i (i=1,2,\dots,n)$, 记最大特征值为 λ_{MAX} , 对应于 λ_{MAX} 的标准化特征向量为 $Y=(y_1,y_2,\dots,y_n)^T$, $y_i(i=1,2,\dots,n)$ 为因素 C_i 对目标 D 的权重。也即对应于判断矩阵最大特征值的特征向量表示因素间的相对重要程度 (权重)。

5.8.2 路径选择的灰色评价方法

设评价指标序号为 i , ($i=1,2,\dots,m$), 指标集 $G=\{G_1,G_2,\dots,G_m\}$;

评判灰类序号为 j , ($j=1,2,\dots,g$), $J=\{1,2,\dots,g\}$;

受评可行路径序号为 k , ($k=1,2,\dots,p$), $K=\{1,2,\dots,p\}$;

则 $d_{ki}(k \in K, i \in I)$ 表示第 k 个可行路径的第 i 个评价指标的评价信息 (值)。 f_j 为第 j 个灰类对于评价值的白化权函数。灰色评价的具体做法如下:

5.8.2.1 求评价信息矩阵

$$D = (d_{ki})_{p \times m} \quad (5.3)$$

表示对受评可行路径 k 的各指标的评价信息矩阵。该矩阵由交通流诱导系统的控制中心按照预先设定的标准提供。

由于所讨论的指标不同, 要求也不同。一般分为三种情况, 即所谓“越大越优型”、“越小越优型”、“适中型”。这可以针对具体的对象通过定性分析来确定, 从而对原信息矩阵进行指标测度的统一处理。本文所涉及到的信息只限于前两种, 即:

(1) 评价指标“越大越优”时, 可用上限效果测度。记统一后的元素为:

$$\delta_{ki} = d_{ki} / \max_i d_{ki}。$$

(2) 评价指标“越小越优”时, 可用下限效果测度。记统一后的元素为:

$$\delta_{ki} = \min_i d_{ki} / d_{ki}。$$

将原信息矩阵按测度转换后, 可得转换后的信息矩阵 $\delta = (\delta_{ki})_{p \times m}$ 。

5.8.2.2 确定评价灰类

确定评价灰类就是确定评价灰类的等级、灰类的灰数及灰数的白化权函数, 一般情况下视实际评价问题分析确定^[59-62]。针对路径选择问题, 本文将评价灰类分为优、良、中、差四类, 相应的白化权函数为:

第一灰类：优（ $j=1$ ），设定灰数 $\otimes_1 \in [0, 0.9, \infty)$ ，白化函数 f_1 (如图 5.12(a))；

第二灰类：良（ $j=2$ ），设定灰数 $\otimes_2 \in (0, 0.8, 1.6]$ ，白化函数 f_2 (如图 5.12(b))；

第三灰类：中（ $j=3$ ），设定灰数 $\otimes_3 \in (0, 0.6, 1.2]$ ，白化函数 f_3 (如图 5.12(c))；

第四灰类：差（ $j=4$ ），设定灰数 $\otimes_4 \in (0, 0.1, 0.5]$ ，白化函数 f_4 (如图 5.12(d))；

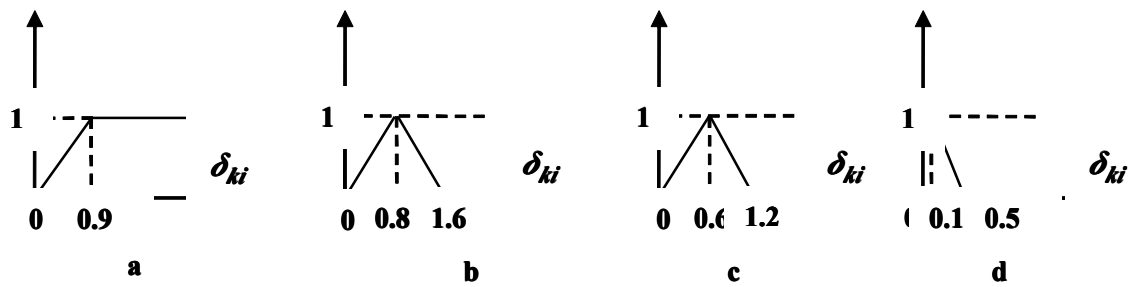


图 5.12 各灰类白化权函数

Fig.5.12 Whitening weight functions

5.8.2.3 计算灰色评价系数

对评价指标 G_i ，第 k 个可行路径属于第 j 个评价灰类的灰色评价系数，记为 $X_{ij}^{(k)}$ ，则有

$$X_{ij}^{(k)} = f_j(\delta_{ki}) \quad (5.4)$$

对评价指标 G_i ，第 k 个可行路径属于各个评价灰类的总灰色评价系数，记为 $X_i^{(k)}$ ，

$$X_i^{(k)} = \sum_{j=1}^4 (X_{ij}^{(k)}) \quad (5.5)$$

5.8.2.4 计算灰色评价权向量及权矩阵

对评价指标 G_i ，对第 k 个受评者（可行路径）属于第 j 个灰类的灰色评价权，记为 $r_{ij}^{(k)}$ ，则有：

$$r_{ij}^{(k)} = \frac{X_{ij}^{(k)}}{X_i^{(k)}} \quad (5.6)$$

因评价灰类有 4 个，所以第 k 个受评者的评价指标 G_i 对于各灰类的灰色评价权向量 $r_i^{(k)}$ 为：

$$r_i^{(k)} = (r_{i1}^{(k)}, r_{i2}^{(k)}, r_{i3}^{(k)}, r_{i4}^{(k)}) \quad (5.7)$$

由此将 $r_i^{(k)}$ 综合得第 k 个受评者的 G_i 所属各指标对于各评价灰类的灰色评价权矩阵

$R^{(k)}$:

$$R^{(k)} = \begin{bmatrix} r_1^{(k)} \\ r_2^{(k)} \\ \vdots \\ r_m^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11}^{(k)} & r_{12}^{(k)} & r_{13}^{(k)} & r_{14}^{(k)} \\ r_{21}^{(k)} & r_{22}^{(k)} & r_{23}^{(k)} & r_{24}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1}^{(k)} & r_{m2}^{(k)} & r_{m3}^{(k)} & r_{m4}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

5.8.2.5 综合评价

对第 k 个受评者作综合评价，其综合评价结果记为 $B^{(k)}$ ，则有

$$B^{(k)} = \omega \cdot R^{(k)} = (b_1^{(k)}, b_2^{(k)}, b_3^{(k)}, b_4^{(k)}) \quad (5.9)$$

第 k 个受评者的综合评价结果 $B^{(k)}$ 是一个向量，表示第 k 个受评者综合状况分类程度。为了充分利用 $B^{(k)}$ 所提供的信息对可行路径的优劣程度进行排序，对 $B^{(k)}$ 作进一步处理，使 $B^{(k)}$ 单值化。引入不同灰类的权系数 $c_j (j=1,2,\dots,g)$ ，可事先确定具体数值(本文取 $c=1.0, c=0.8, c=0.6, c=0.4$)，则可行路径 k 的综合评价值

$$r^{(k)} = \sum_{j=1}^4 B^{(k)} \cdot c_j \quad (5.10)$$

取综合评价值 $r^{(k)}$ 最大的路径为最优路径。

综合上文所述，基于灰色系统理论的最优路径选择方法的流程如图 5.13 所示。

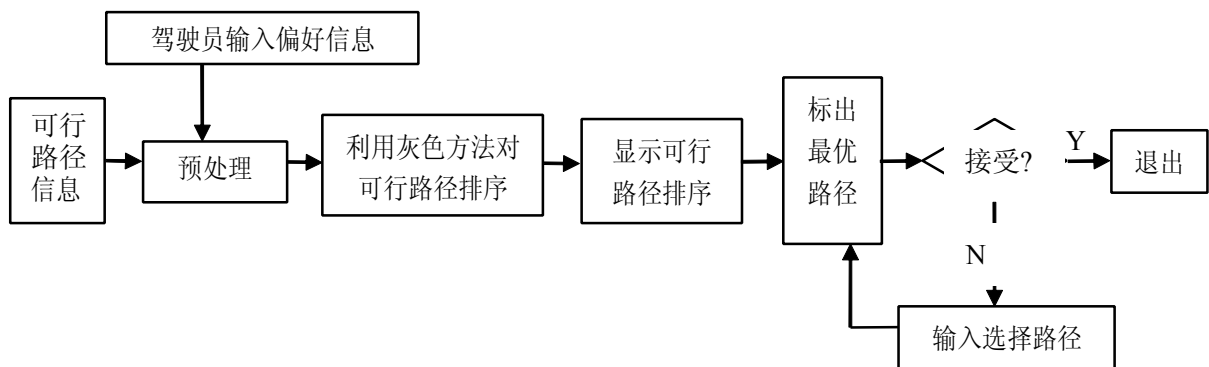


图 5.13 出行者路径选择决策支持流程图

Fig.5.13 Flow chart of decision support for driver's route selection

5.9 高速公路路径选择行为案例分析

在高速公路交通网络中选择路径，选择状态包括在给定的起始点和终点间所有可能

的路径。简单网络示意图如图 5.14 所示,在起点 O 和终点 D 之间有 4 条可能的路径:1 和 3、1 和 4、2 和 3、2 和 4。在这个网络中有起始点 O 和结点 A 两个决策点,有几种选择情形:一是出行者从 O 和 D 间的全部路径选择,在出行前就做出了选择并且不会在行进的过程中改变。称之为同时选择,一般发生在路径规划阶段。二是通过沿着道路的每一个决策点,出行者都会从到他的下一个决策点之间的次路径中再一次选择,其选择独立于其他的选择。称之为连续选择。三是出行者在决策点处做出选择,但是选择行为依赖于前面的选择,称之为分级选择^[7]。本论文主要以第二种情形做为研究对象,来描述高速公路出行者路径选择行为。

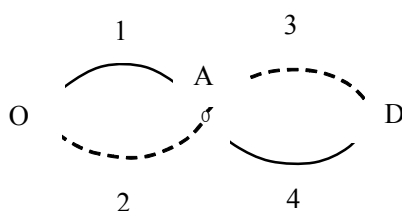


图 5.14 简单网络示意图

Fig.5.14 Simple network sketch map

目前,虽然我国的高速公路网还未全部成形,但在东部地区基本形成高速公路网,长江三角洲、珠江三角洲、环渤海地区形成较完善的城际高速公路网络。随着社会和经济的发展,高速公路网络不断地完善,人们出行必然面临路径的选择。本文以上海到南京的高速公路网为例(图 5.15、5.16 为上海到南京的高速公路网现状和简化图),分析出行者的路径选择行为。

从上海到南京有三条路径可以选择,分别是路径 1——上海经 92 高速到太仓,从太仓由宁太高速公路到南京;路径 2——从上海经沪蓉高速到南京;路径 3——从上海经沪渝高速公路到湖州,然后转 114 高速到南京。根据交通部的统计,这三条路线在出行距离、时间、费用、舒适安全性以及拥挤程度等信息上有一定得差别,依据上述因素,建立上海到南京的最优路径的评价指标体系(如图 5.17)。根据其信息的差别,经统一测度转换处理后,得到以下信息矩阵:

	距离	时间	费用	舒适安全	拥挤程度
路径 1	0.7	1	0.5	1	0.7
路径 2	1	0.6	1	0.5	0.4
路径 3	0.5	0.7	0.4	0.7	1



图 5.15 上海到南京的高速公路网现状图

Fig.5.15 highway network from Shanghai to Nanjing

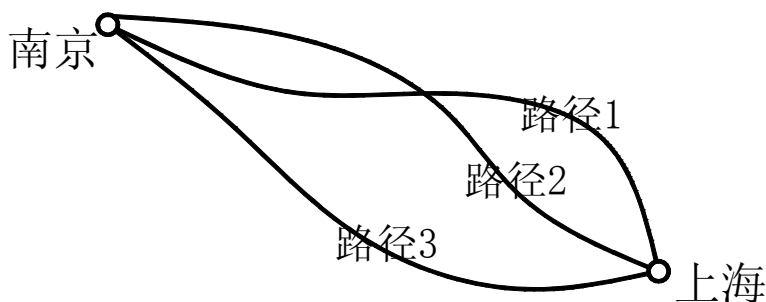


图 5.16 上海到南京的高速公路网简易图

Fig.5.16 The simple chart of highway network from Shanghai to Nanjing

可以看出，路径 1 是行驶时间最短和舒适安全性最高的路线；路径 2 是距离最短并且费用最小的路线；路径 3 是拥挤程度最小的路线。

由前面的理论知识，我们了解到，在出行者出行中，出行者根据不同的出行目的，会有特别的要求或者偏好。根据对高速公路出行者进行的调查得出：当出行目的为旅游或者探亲时，他们对路径信息的偏好差异不是很大。本论文就以其中的旅游和出差为例，来研究出行者出行的最优路径。

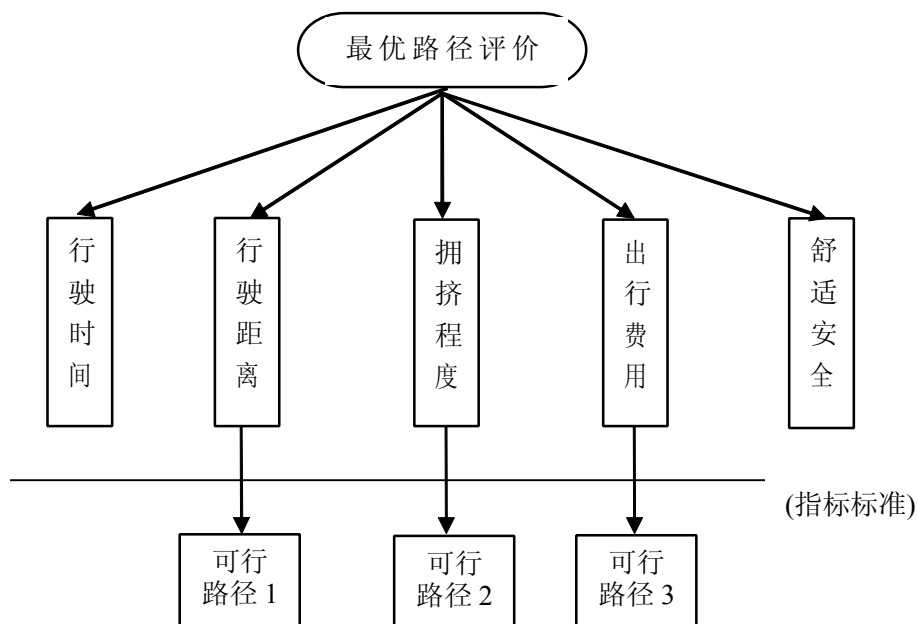


图 5.17 上海到南京的最优路径评价指标体系

Fig.5.17 Optimal route evaluation index system from Shanghai to Nanjing

当人们以旅游为目的时，根据已有的调查结果，整理得出出行者对路径选择因素相对重要性的判断，如表 5.4。

由此可以看出，当出行者以旅游为目的时，舒适安全性是其出行的首选因素，其次就是道路的拥挤程度，再次是时间和费用，对出行距离并不是很关心。

表 5.4 以旅游为目的的出行者的偏好

Table.5.4 The preference of travel transportation

因素 \ 重要性	很重要	重要	不重要	不关心
距离				★
时间			★	
费用			★	
舒适安全性	★			
拥挤程度		★		

当人们以公费出差为目的的时候，和旅游有所差别，其判断如表 5.5

表 5.5 以公费出差为目的的出行者的偏好

Table.5.5 The preference of fee a business trip

因素 \ 重要性	很重要	重要	不重要	不关心
距离			★	
时间	★			
费用				★
舒适安全性		★		
拥挤程度		★		

当出行者以公费出差为目的时，由于出行费用不用自己出，所以对其表现出不关心，但是对时间要求非常高，其次就是舒适安全性和拥挤程度。

5.9.1 以旅游为出行目的的高速公路路径选择实例分析

首先，以旅游为目的的出行为例，来分析从上海到南京，出行者对路径的选择情况。

(1) 权重的确定问题

在出行者的偏好信息中，设定“不关心”的指标的权重设为 0，其他指标的权重确定利用(-2,2)EM 主观赋权法^[59]。该法采用五标度(-2,-1,0,1,2)数值来判断两个元素之间的重要性关系。利用驾驶员的偏好信息给出比较判断矩阵 C，对于评价指标集 $G=\{G_1, G_2, \dots, G_m\}$ 中的指标通过两两比较得到比较矩阵 C：如下：

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mm} \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

其中，

$$C_{ij} = \begin{cases} 2 & \text{第 } i \text{ 元素比第 } j \text{ 元素强烈或极端重要} \\ 1 & \text{第 } i \text{ 元素比第 } j \text{ 元素稍微或明显重要} \\ 0 & \text{第 } i \text{ 元素与第 } j \text{ 元素同等重要} \\ -1 & \text{第 } j \text{ 元素比第 } i \text{ 元素稍微或明显重要} \\ -2 & \text{第 } j \text{ 元素比第 } i \text{ 元素强烈或极端重要} \end{cases}$$

且有 $c_{ij}=0$ 。元素自身比较重要性相同。

针对上述原则，因为在出行者的偏好中，设定了“不关心”的指标权重为 0，在以

旅游为目的出行的例子中，比较判断矩阵就省略偏好距离与其他偏好的比较。则该偏好信息矩阵为：

	时间	费用	舒适安全 性	拥挤 程度
时间				
费用				
舒适安 全性				
拥挤 程度				

转化为比较矩阵中的值为：

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & -2 & -1 \\ 2 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

根据指标的重要性权重指数公式

$$r_i = \sum_{j=1}^m c_{ij}, \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (5.12)$$

计算出： $r_1=0+0+(-2)+(-1)=-3$ ， $r_2=0+0+(-2)+(-1)=-3$ ， $r_3=2+2+0+1=5$ ， $r_4=1+1+(-1)+0=1$ 。

根据公式：

$$b_{ij} = \begin{cases} r_i - r_j + 1 & r_i \geq r_j \\ [r_j - r_i + 1]^{-1} & r_i < r_j \end{cases} \quad (5.13)$$

求出判断矩阵 B：

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1/9 & 1/5 \\ 1 & 1 & 1/9 & 1/5 \\ 9 & 9 & 1 & 5 \\ 5 & 5 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

根据公式 (5.2)， $|B - \lambda I| = 0$ ，即：

$$\begin{bmatrix} 1-\lambda & 1 & 1/9 & 1/5 \\ 1 & 1-\lambda & 1/9 & 1/5 \\ 9 & 9 & 1-\lambda & 5 \\ 5 & 5 & 1/5 & 1-\lambda \end{bmatrix} = 0$$

求出权重 $\omega = (0, 0.055, 0.055, 0.669, 0.220)$ 。

2. 灰色评价系数的确定

再根据公式(5.4)及图(5.12)求出这三条路径各自的总灰色评价系数：分别为 $X_{ij}^{(1)}$ 、 $X_{ij}^{(2)}$ 、 $X_{ij}^{(3)}$ 。

其中，

$$X_{ij}^{(1)} = \begin{bmatrix} 8/9 & 1 & 4/6 & 0 \\ 1 & 6/8 & 1/3 & 0 \\ 7/9 & 7/8 & 5/6 & 0 \\ 1 & 7/8 & 1/2 & 0 \\ 8/9 & 1 & 4/6 & 0 \end{bmatrix} \quad X_{ij}^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 & 6/8 & 1/3 & 0 \\ 6/9 & 6/8 & 1 & 0 \\ 1 & 6/8 & 1/3 & 0 \\ 6/9 & 6/8 & 1 & 0 \\ 4/9 & 1/2 & 4/6 & 1/4 \end{bmatrix}$$

$$X_{ij}^{(3)} = \begin{bmatrix} 5/9 & 5/8 & 5/6 & 0 \\ 8/9 & 1 & 4/6 & 0 \\ 4/9 & 1/2 & 4/6 & 1/4 \\ 1 & 6/8 & 1/3 & 0 \\ 1 & 6/8 & 1/3 & 0 \end{bmatrix}$$

由公式（5.5）可得：

$$X^{(1)} = (2.556, 2.083, 2.486, 2.375, 2.556), \quad X^{(2)} = (2.083, 2.417, 2.083, 2.417, 1.861),$$

$$X^{(3)} = (2.014, 2.556, 1.861, 2.083, 2.083)。$$

3. 路径的灰色评价权矩阵

由公式(5.6)和式(5.7)可以得出权矩阵 $R^{(k)}$

$$R^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.348 & 0.391 & 0.261 & 0 \\ 0.480 & 0.360 & 0.160 & 0 \\ 0.313 & 0.352 & 0.335 & 0 \\ 0.421 & 0.368 & 0.211 & 0 \\ 0.348 & 0.391 & 0.261 & 0 \end{bmatrix} \quad R^{(2)} = \begin{bmatrix} 0.480 & 0.360 & 0.160 & 0 \\ 0.276 & 0.310 & 0.414 & 0 \\ 0.480 & 0.360 & 0.160 & 0 \\ 0.276 & 0.310 & 0.414 & 0 \\ 0.239 & 0.269 & 0.358 & 0.134 \end{bmatrix}$$

$$R^{(3)} = \begin{bmatrix} 0.276 & 0.310 & 0.414 & 0 \\ 0.380 & 0.391 & 0.261 & 0 \\ 0.239 & 0.269 & 0.358 & 0.134 \\ 0.480 & 0.360 & 0.160 & 0 \\ 0.480 & 0.360 & 0.160 & 0 \end{bmatrix}$$

4. 路径的综合评价

由公式(5.9)得出三条路径各自的综合评价，分别是 $B^{(1)}$, $B^{(2)}$, $B^{(3)}$ 。其中，

$$\begin{aligned} B^{(1)} &= \omega \times R^{(1)} = (0.000, 0.055, 0.055, 0.669, 0.220) \times \begin{bmatrix} 0.348 & 0.391 & 0.261 & 0 \\ 0.480 & 0.360 & 0.160 & 0 \\ 0.313 & 0.352 & 0.335 & 0 \\ 0.421 & 0.368 & 0.211 & 0 \\ 0.348 & 0.391 & 0.261 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.402, 0.372, 0.225, 0.000), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B^{(2)} &= \omega \times R^{(2)} = (0.000, 0.055, 0.055, 0.669, 0.220) \times \begin{bmatrix} 0.480 & 0.360 & 0.160 & 0 \\ 0.276 & 0.310 & 0.414 & 0 \\ 0.480 & 0.360 & 0.160 & 0 \\ 0.276 & 0.310 & 0.414 & 0 \\ 0.239 & 0.269 & 0.358 & 0.134 \end{bmatrix} \\ &= (0.279, 0.304, 0.387, 0.030), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B^{(3)} &= \omega \times R^{(3)} = (0.000, 0.055, 0.055, 0.669, 0.220) \times \begin{bmatrix} 0.276 & 0.310 & 0.414 & 0 \\ 0.380 & 0.391 & 0.261 & 0 \\ 0.239 & 0.269 & 0.358 & 0.134 \\ 0.480 & 0.360 & 0.160 & 0 \\ 0.480 & 0.360 & 0.160 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.459, 0.356, 0.176, 0.007). \end{aligned}$$

为了充分利用 $B^{(k)}$ 所提供的信息对可行路径的优劣程度进行排序，对 $B^{(k)}$ 作进一步处理，使 $B^{(k)}$ 单值化。引入不同灰类的权系数 $c_j (j=1, 2, \dots, 4)$ ，本文取 ($c_1=1.0$,

$c_2=0.8, c_3=0.6, c_4=0.4$)，则可行路径 k 的综合评价价值 $r^{(k)} = \sum_{j=1}^4 B^{(k)} \times c_j$ ，取综合评价价值 $r^{(k)}$ 最大

的路径为最优路径。

$$\text{则: } r^{(1)} = 0.402 \times 1.000 + 0.372 \times 0.800 + 0.225 \times 0.600 + 0.000 \times 0.400 = 0.834,$$

$$r^{(2)} = 0.279 \times 1.000 + 0.304 \times 0.800 + 0.387 \times 0.600 + 0.030 \times 0.400 = 0.766,$$

$$r^{(3)} = 0.459 \times 1.000 + 0.356 \times 0.800 + 0.176 \times 0.600 + 0.007 \times 0.400 = 0.853,$$

即： $r^{(3)}=0.853>r^{(1)}=0.834>r^{(2)}=0.766$ 。则当以旅游为目的时，从上海到南京各路径的优劣排序为：路径 3，路径 1，路径 2。路径 3 为满足旅游出行者偏好的最优路径。

5.9.2 以公费出差为出行目的的高速公路路径实例分析

根据以旅游为出行目的的高速公路路径分析的步骤，求出以公费出差为出行目的的从上海到南京三条路径的综合评价值 $r^{(k)}$ ：

$$r^{(1)}=0.597\times 1.000+0.415\times 0.800+0.170\times 0.600+0.000\times 0.400=1.182,$$

$$r^{(2)}=0.381\times 1.000+0.337\times 0.800+0.329\times 0.600+0.019\times 0.400=1.066,$$

$$r^{(3)}=0.579\times 1.000+0.417\times 0.800+0.179\times 0.600+0.000\times 0.400=1.175,$$

即 $r^{(1)}=1.182>r^{(3)}=1.175>r^{(2)}=1.066$ 。则当以公费出差为目的时，从上海到南京各路径的优劣排序为：路径 1，路径 3，路径 2。路径 1 为满足旅游出行者偏好的最优路径。

5.9.3 综合分析

综上所述，根据不同的出行目的，出行者的出行偏好有所不同，导致路径选择的差异性。本论文应用层次分析法和灰色系统理论相结合，以出行者的出行心理及行为特征、出行行为的影响因素、出行行为的效用特征和决策机制为依据，并结合上海到南京的实例，对出行者的路径选择做综合评价，并得出出行者的出行决策，符合实际情况，因此，这种算法可以得到应用。

6 结论和展望

6.1 结论

随着世界经济与技术的发展, 交通运输已经成为生活中的重要方面, 并对保证社会经济体系的正常运转发挥着越来越大的作用。高速公路作为现代化的交通运输基础设施, 以其交通流量大、行车速度快、运行舒适安全等特点和优势, 已成为适合现代产业结构发展需求的重要运输方式。

近十多年来, 我国高速公路建设速度和发展水平取得了令人瞩目的成就, 已达到世界先进水平。由于交通需求的日益增加, 我们国家的高速公路网络不断完善, 高速公路从原来的树状结构逐步衍化为网状结构, 路网形成环状时, 出现了在两个出入口之间往往有多条可选行驶路径——即“多义性路段”现象。从而导致高速公路出行者的出行目标多元化。因为个体在出行时, 道路因素、个体行为、出行心理、选择偏好、出行目的、优化策略等方面的差异, 从而人们对路径选择的标准也不尽相同, 选择属性的相关重要性也各不相同。通过研究表明大多数人并不一定选择最短路径, 而选择了基于各种因素的适合个体特性的最优路径。

本文从宏观上研究了出行者的出行心理及行为特征、出行行为的影响因素、出行行为的效用特征和决策机制, 搭建了出行路径选择行为分析的框架, 并得出了以下研究结论:

(1) 分析了出行者普遍的出行心理与出行行为的特征, 认为高速公路出行路径选择行为也是一种基于自身意愿的消费者选择行为。

(2) 高速公路出行路径选择行为直接受社会经济及道路环境因素、出行主体特性因素、出行特性因素、高速公路运输系统特性因素、出行路线的选择特性因素等共同作用与制约。

(3) 描述了高速公路出行路径选择行为的决策机制。

(4) 结合实例, 建立了合理的高速公路出行路径选择行为的数学分析模型。

6.2 进一步研究设想

由于高速公路出行者路径选择行为分析涉及到很多方面的知识，主要是对出行者的个体行为和心理方面的研究。随着社会的快速发展，不同的阶段，人们的消费心理也有所改变，出行的行为随之而时刻变化，导致出行者出行时对路径的选择行为有所差异。所以研究好出行者的出行心理及行为，会更好的把握出行者对高速公路网路径的选择行为。而这些方面的基础理论研究正处于不断的发展之中，在实际应用中还存在很多问题，因此在使用中尤其要注意。

下一阶段的研究方向可涉及到以下主题：

- ◆ 基础理论研究；
- ◆ 出行行为的分析；
- ◆ 出行者的心理研究
- ◆ 出行行为模型的建立、求解和验证；
- ◆ 出行行为分析的应用。

未来，我国高速公路网将贯通全国各个地市，形成一个庞大的高速公路网系统。并且，随着经济的不断发展，私有轿车量也将迅速增加，高速公路出行量也会持续上升。为了能够更好的预测高速公路交通流量的分配，使高速公路充分发挥其快速、方便、舒适安全等特点，决策者必须注意到下面的问题：

（1）高速公路出行路径选择行为影响因素的变化：必须时刻跟踪这些因素的变化，因为出行路径选择行为也是随之而变化的，只有这样才能不断提高出行路径选择行为分析理论研究与应用的水平。

（2）在实际应用中，不能单纯追求准确描述高速公路出行路径选择行为决策，必须要根据实际情况合理把握高速公路出行路径选择行为分析的精度，要做大量的调查，接近出行者，了解出行者，以人为本，从出行者的角度考虑问题，只有这样，我们才能更好的把握出行者的心理和出行行为，从而使预测更加合理化。

致 谢

三年的研究生生活马上就要结束了，在这期间，老师的谆谆教导，同学好友的相互帮助，让我受益匪浅；不仅仅提高了自身专业知识，还领悟了许多做人做事的道理。借此机会，我向我的老师、同学、师门表示感谢！

本文是在导师吴守荣教授、任英伟老师的悉心指导下完成的。吴老师和任老师渊博的知识、严谨的治学态度、高尚的品德以及他孜孜不倦的热情指导每一次都让我铭记在心，同时也使我使我受益匪浅，并给我树立了良好的榜样。三年来，老师们在学习和生活上给予了我无微不至的关怀和帮助。在本文的写作过程中，老师们一方面以真诚的鼓励使我能够满怀信心地进行本文的研究工作，另一方面又一丝不苟地严审论文的每一个细节使我在写作过程中又学到了更多的知识。因此，我的每一步前进无不倾注着导师的心血。值此论文完成之际，谨向两位老师表示衷心的感谢！

感谢山东科技大学研究生教育学院、土建学院和信电学院的各位领导和各位老师给予的学习和生活上的关怀和帮助！

感谢我的同门殷世河、张强，三年中在生活上给予我热情的帮助和真诚的支持，感谢师兄宁甜甜、纪茂全，师妹马丽霞、王磊、张茜茜，师弟解超陪我度过这段难忘的时光。

感谢我的家人对我的支持和关心，是他们一直在背后用无声的爱呵护我，使我得以顺利完成学业，我将用一生最大的努力来回报所有爱我的人。

感谢所有参考文献的作者们！并向由于疏漏未能在参考文献中一一列出的参考文献作者及网站内容的版权所有人表示歉意和感谢！

最后，衷心感谢在百忙之中抽出时间审阅本论文的专家、教授！

攻读硕士期间发表的论文及科研成果

发表论文：

1. 《智能交通系统为交通安全提供一条切实可行的道路》 山东科技大学学报（增刊）
2008，27:407-408
2. 《静压桩承载力的时效性》 山东科技大学学报（增刊） 2008，27:179-180
3. 《ITS 在农产品中的应用》 山东科技大学学报（增刊） 2008，27:405-406

实践：

教授山东科技大学土木建筑学院工程管理 06 级 1、2 班 AutoCAD 课程 2008.09 月-2008.12 月

参考文献

- 1.杜海宁,张毅,宋靖雁.高速公路联网收费清分算法中对环型路网结构的处理[J].公路交通科技,2003,20(1):110-113.
- 2.Wachs M. Relationships Between Drivers Attitudes Toward Alternative Routes and Driver and Route Characteristics [J]. High-way Research Record, 1967, 197:70-87.
- 3.Stern E,Leiser D. Levels of Spatial Knowledge and Urban Travel Modeling[J]. Geographical Analysis, 1988, 20(2):140-155.
- 4.Uchida T, Iida Y, Nakahara M. Panel Survey on Drivers' Route Choice Behavior Under Travel Time Information[C]. Vehicle Navigation and Information Systems Conf, Yokohama-shi, 1994:18-21.
- 5.Golledge R G. Path Selection and Route Preference in Human Navigation: a Progress Report[C]//Frank A U, Kuhn W. Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS. Eds:Andrew U. Frank, Werner Kuhn. Berlin: Springer-Verlag, 1995:21-23.
- 6.Fisher P F. Developments in Spatial Data Handling [M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2005:56-57.
- 7.瞿嵘,刘潇,翁敏.出行路径选择标准及策略研究[J].测绘信息与工程, 2008,33(2):33-35.
- 8.孙燕,陈森发,黄鹂.基于灰色评价理论的自适应最优路径选择[J].中国公路学报, 2003,16(4):87-90.
- 9.陆锋,周成虎,万庆.基于层次空间推理的交通网络行车最优路径算法[J].武汉测绘科技大学学报,2000,25(3):226-232.
- 10.陈松岩,今井昭夫.物流网络选址与路径优化问题的模型与启发式解法[J].交通运输工程学报, 2006,6(3):118-121.
- 11.马永锋,陆键,项乔君,魏连雨.基于出行决策的公路网多目标最优路径算法[J].交通运输工程学报,2007,7(3):100-105.
- 12.赵亦林.车辆定位与导航系统[M].北京:电子工业出版社,1999:32-34.
- 13.中华人民共和国交通部.国家高速公路网规划[M].北京:人民出版社,2005:8-13.
- 14.何增荣,傅荧.高速公路的发展与利用[M].北京:中国科学技术出版,2005:9.
- 15.李家杰,郑义.影响城市道路通行能力因素分析[J].城市道桥与防洪,2006,(3):19-21.

- 16.郭敏.高速公路收费系统[M].北京:人民交通出版社,2002:24.
- 17.万建忠.论高速公路收费制度[J].山东交通科技,2002,(3):32-37.
- 18.俞善洵,彭坚.高速公路收费管理[M].武汉:湖北科学技术出版社,2005:32.
- 19.王俊燕,魏连雨.交通流多路线选择与广义行程费用分析[J].重庆交通学院学报,2000,19(3):40-46.
- 20.王英涛,李春澜,傅彦.基于效用理论的出行前最优路径算法研究[J].武汉理工大学学报,2007,27(5):705-707.
- 21.刘雪岩.出行路线选择行为研究[D].北京:对外经济贸易大学,2006:1-14.
- 22.周伟.关于高速公路建设发展管理中的若干问题研究[D].西安:长安大学,2000:31-45.
- 23.项贻强.高速公路规划与管理[M].北京人民交通出版社,1999:56-58.
- 24.柯友华,云美萍.城市出行选择行为机理研究[J].交通运输工程与信息学报,2007,5(2):95-102.
- 25.罗利建.中国行为科学导论[M].北京:电子工业出版社,1988:24-175.
- 26.唐克双.基于活动的交通需求预测模型研究[D].上海:同济大学,2005:18-25.
- 27.张振飞.城际交通行为选择方式研究[D].北京:北方交通大学,2006:18-40.
- 28.吴丰,消费市场营销[M].四川成都:成都大学出版社,1992:37-38.
- 29.杨锡山等.西方组织行为学[M].北京:中国展望出版社,1986:45-46.
- 30.朱晓宁.旅客运输心理学[M].北京:中国铁道出版社,2001:1-119.
- 31.金宝辉.交通出行行为分析[D].四川成都:西南交通大学,2004:13-36.
- 32.符国群.消费者行为学[M].湖北武汉:武汉大学出版社,2003:60-61.
- 33.杨涛,王琳,周征炯.马鞍山市居民出行选择决策心理研究[J].城市规划汇刊.1994,8(4):39-45.
- 34.马翠华.击中消费者:消费者心理及行为透视[M].中国纺织出版社,2002:143-147.
- 35.车文博.心理学原理[M].哈尔滨:黑龙江人民出版社,1986:24-135.
- 36.郭寒英.基于出行者生理心理的城市客运交通出行行为分析[D].四川成都:西南交通大学,2007:25-40.
- 37.Lovas G.G. Modeling and simulation of pedestrian traffic flow [J].Transportation Research Part B 1994,28(6),429-443.
- 38.Thomas F. Golob.Structural equation modeling for travel behavior research [J].Transportation Research Part B.2003,37(1):1-25.

39. 王炜,杨新苗等.城市公共交通系统规划方法与管理技术[M].北京:科学技术出版社, 2002:21-22.
- 40.陈尚云.我国特大城市客运交通系统结构和发展战略研究[D].成都:西南交通大学, 2004:2.
- 41.王炜,陈学武,陆建.城市交通系统可持续发展理论体系研究[M].北京:科学出版社, 2004:32-34.
- 42.王炜,徐吉谦等.城市交通规划理论及其应用[M].南京:东南大学出版社,1998:29-32.
- 43.陆化普等.交通规划理论与方法[M].北京:清华大学出版社,1998:27-30.
- 44.胡运权.运筹学教程(第二版)[M].北京:清华大学出版社,2003:421-423.
- 45.姚祖康.道路与交通工程系统分析[M].北京:人民交通出版社,1996:161-173.
- 46.暴奉贤,陈宏立.经济预测与决策方法[M].广东广州:暨南大学出版社,1991:298-399.
- 47.华宏鸣.实用快速决策分析方法[M].上海:复旦大学出版社,1990:3-89.
- 48.徐南荣.科学决策理论与方法[M].南京:东南大学出版社,1996:56-136.
- 49.何剑枫.决策分析系统在公路网规划中的应用[D].北京:北京工业大学,2003:35-78.
- 50.范翰章,杨树春,孙秀玉.决策心理学[M].北京:中共中央党校出版社,1996:61-75.
- 51.Linsay P.h.and Norman, D.A.Human information processing: an introduction to psychology [M] .北京:科学出版社,1987:89-397.
- 52.温惠英, 沈毅贤.基于出行行为的公交运营策略研究[J].交通与运输,2008,5:67-70.
- 53.杨雪.高速公路网络流量预测与分析[D].山东青岛:山东科技大学,2006:10-30.
- 54.Mohammad R Tayyaran M Eng. Impacts of Telecommuting and Related Aspects of Intelligent Transportation Systems on Residential Location Choice: A Combined Revealed and Stated Preference Approach [M].Journal of Environmental Economics and Management,2003: 213-230
- 55.王海洋.客货运输时间价值的确定方法研究[D].陕西西安:长安大学,2001:10-40.
- 56.姜学方.基于行为的交通出行预测[D].陕西西安:西安建筑科技大学, 2006:6-50.
- 57.王莲芬.层次分析法引论[M].北京:中国人民大学出版社, 1990:35-78.
- 58.Crantham K.H.Pang, etc. Adaptive Route Selection for Dynamic Route Guidance System Based on Fuzzy-Neural Approaches[J].IEEE Transactions on VehicularTechnology,1999, 48(6):2028-2041.
- 59.邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1992:56-88.

- 60.周明耀等.灌溉管理的递阶多层次灰色评价方法[J].系统工程理论与实践, 2000, 20(4):120-126.
- 61.胡笙煌.主观指标的多层次灰色评价[J].系统工程理论与实践,1996,16(1):12-20.
- 62.孙燕,陈森发,亓霞,黄鹂.基于灰色系统理论的最优路径选择方法[J].土木工程学报,2003,36(1):94-98.