

## 摘要

近年来,我国经济与社会取得了重大进步,居民收入水平也得到持续改善。与此同时,城乡地区道路基础设施发展水平相对落后,私家车出行比例的提升和居民出行需求的增加进一步加剧了交通拥堵,使得城乡交通系统运行效率低下。针对以上问题,本文围绕城乡居民出行规律特性,展开城乡居民客运结构优化问题的研究。

首先,通过座谈法和问卷调查法对调研区域内居民出行特性和客运状况进行调查,获取居民出行和当地交通状况有关的基础数据,分析城乡居民出行规律特性和所存在的问题,进而提出以城乡居民出行成本最小和交通系统总效用最大的客运结构优化的目标,引入广义出行费用理论概念,从直接货币成本、出行时间成本和舒适度损失成本三个部分对城乡居民出行成本进行量化,明确城乡居民在不同出行方式下的广义出行成本计算方法,构建城乡居民广义出行费用函数。然后,基于城乡居民出行特征,以交通系统总效用最大和居民广义出行费用最小为目标,构建基于广义出行费用的城乡客运结构优化多目标模型;根据所构建模型参数特征,综合考虑出行需求约束和各交通方式的发展规模等约束条件,提出使用帕累托模型确保解的优劣性,设计快速非支配排序遗传算法对模型加以求解。最后,根据所构建的优化模型,以陕西省渭南市华州区城乡客运为例,对其客运结构进行优化,对比分析优化前后的交通系统总效用和广义出行费用的变化,并从优先发展公交的角度提出优化华州区客运结构的相关建议。

研究表明,城乡公交车出行占比显著上升,在维持出行成本不变的情况下,整体交通效用提高约 17%,使得客运系统更加低碳高效,验证了本文所构建模型的有效性。本文研究成果可一定程度上优化城乡客运结构,引导城乡居民绿色低碳出行,具有一定的理论和实用价值。

**关键词:** 城乡交通; 客运结构优化; 出行特性; 广义出行费用; 快速非支配排序遗传算法

## Abstract

In recent years, China's economy and society have made great progress, and the income level of residents has also been continuously improved. At the same time, the development level of road infrastructure in urban and rural areas is relatively backward. The increase in the proportion of private cars and the increase in residents' travel demand have further exacerbated traffic congestion, making the urban and rural transportation system inefficient. In view of the above problems, this paper focuses on the characteristics of urban and rural residents' travel patterns, and carries out research on the optimization of urban and rural residents' passenger transport structure.

Firstly, the travel characteristics and passenger transport status of residents in the survey area are investigated through discussion and questionnaire survey methods to obtain the basic data related to residents' travel and local traffic conditions, analyze the characteristics and existing problems of urban and rural residents' travel patterns, and then put forward the goal of optimizing the passenger transport structure with the minimum travel cost of urban and rural residents and the maximum total utility of the transportation system. The concept of generalized travel cost theory is introduced from the direct monetary cost. The three parts of travel time cost and comfort loss cost quantify the travel cost of urban and rural residents, clarify the calculation method of generalized travel cost of urban and rural residents under different travel modes, and construct the generalized travel cost function of urban and rural residents. Then, based on the travel characteristics of urban and rural residents, a multi-objective optimization model of urban and rural passenger transport structure based on generalized travel cost is constructed with the goal of maximizing the total utility of the transportation system and minimizing the generalized travel cost of residents; According to the parameter characteristics of the model, considering the travel demand constraints and the development scale of various transportation modes, the Pareto model is proposed to ensure the advantages and disadvantages of the solution, and a fast non dominated sorting genetic algorithm is designed to solve the model. Finally, according to the optimization model, taking the urban and rural passenger transport in Huazhou District, Weinan City, Shaanxi Province as an example, this paper optimizes its passenger transport structure, compares and analyzes the changes in the total utility of the transportation system

and the generalized travel cost before and after the optimization, and puts forward relevant suggestions to optimize the passenger transport structure in Huazhou district from the perspective of giving priority to the development of public transport. The research results show that the proportion of urban and rural bus travel has increased significantly.

Under the condition of maintaining the travel cost unchanged, the overall traffic utility has increased by about 17%, making the passenger transport system more low-carbon and efficient, which verifies the effectiveness of the model constructed in this paper. The research results of this paper can optimize the urban and rural passenger transport structure to a certain extent and guide urban and rural residents to travel green and low-carbon, which has certain theoretical and practical value.

**Keywords:** Urban and rural transportation; Optimization of passenger transport structure; Travel characteristics; Generalized travel cost; Fast non dominated sorting genetic algorithm

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....                  | 1  |
| 1.1 研究背景与意义 .....             | 1  |
| 1.1.1 研究背景 .....              | 1  |
| 1.1.2 研究意义 .....              | 2  |
| 1.2 国内外研究现状 .....             | 2  |
| 1.2.1 出行特征研究 .....            | 3  |
| 1.2.2 出行费用 .....              | 5  |
| 1.2.3 客运交通结构优化 .....          | 6  |
| 1.2.4 既有文献评述 .....            | 8  |
| 1.3 研究内容与技术路线 .....           | 9  |
| 1.3.1 主要研究内容 .....            | 9  |
| 1.3.2 研究方法 .....              | 10 |
| 1.3.3 技术路线 .....              | 10 |
| 第二章 城乡居民出行特征调查与分析 .....       | 12 |
| 2.1 数据来源与研究区域概况分析 .....       | 12 |
| 2.1.1 研究方法与数据采集过程 .....       | 12 |
| 2.1.2 调查区域城乡发展水平分析 .....      | 14 |
| 2.1.3 区域道路基础设施状况分析 .....      | 14 |
| 2.1.4 城乡客运发展状况分析 .....        | 16 |
| 2.2 城乡居民出行特性分析 .....          | 17 |
| 2.2.1 城乡居民个人特性 .....          | 17 |
| 2.2.2 城乡出行特性 .....            | 19 |
| 2.3 城乡道路设施及客运存在问题分析 .....     | 22 |
| 2.4 城乡居民出行规律变化分析 .....        | 23 |
| 2.5 本章小结 .....                | 24 |
| 第三章 基于广义出行费用的城乡客运结构优化研究 ..... | 25 |
| 3.1 城乡客运结构优化分析 .....          | 25 |
| 3.1.1 城乡客运结构优化原则 .....        | 25 |
| 3.1.2 城乡客运结构优化目标 .....        | 26 |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 3.2 城乡居民广义出行费用研究分析.....               | 27        |
| 3.2.1 广义出行费用定义分析.....                 | 27        |
| 3.2.2 城乡居民广义出行费用构成分析.....             | 27        |
| 3.3 城乡居民广义出行费用函数的确定.....              | 30        |
| 3.3.1 直接货币成本的量化.....                  | 30        |
| 3.3.2 出行时间成本的量化.....                  | 32        |
| 3.3.3 舒适度损失成本的量化.....                 | 35        |
| 3.3.4 广义出行函数的确定.....                  | 35        |
| 3.4 本章小结.....                         | 37        |
| <b>第四章 基于广义出行费用的城乡客运结构优化模型构建.....</b> | <b>38</b> |
| 4.1 基于广义出行费用的城乡客运结构优化模型问题描述.....      | 38        |
| 4.2 模型假设.....                         | 38        |
| 4.3 基于广义出行费用的城乡客运结构优化模型构建.....        | 39        |
| 4.3.1 优化目标.....                       | 39        |
| 4.3.2 约束条件.....                       | 40        |
| 4.3.3 多目标优化分析.....                    | 41        |
| 4.4 快速非支配排序遗传算法.....                  | 43        |
| 4.4.1 快速非支配排序.....                    | 45        |
| 4.4.2 拥挤度.....                        | 45        |
| 4.4.3 遗传算法.....                       | 45        |
| 4.5 本章小结.....                         | 47        |
| <b>第五章 实证应用.....</b>                  | <b>49</b> |
| 5.1 基于调查区域的模型参数的确定.....               | 49        |
| 5.1.1 出行时间价值.....                     | 49        |
| 5.1.2 出行需求分析.....                     | 49        |
| 5.1.3 各出行方式发展规模分析.....                | 49        |
| 5.2 广义出行费用的计算.....                    | 50        |
| 5.2.1 直接货币成本的计算.....                  | 50        |
| 5.2.2 出行时间成本的计算.....                  | 51        |
| 5.2.3 舒适度损失成本的计算.....                 | 52        |

|                     |    |
|---------------------|----|
| 5.2.4 广义出行费用 .....  | 55 |
| 5.3 实例求解 .....      | 55 |
| 5.4 验证分析及优化建议 ..... | 57 |
| 5.4.1 验证分析 .....    | 57 |
| 5.4.2 优化建议 .....    | 59 |
| 5.5 本章小结 .....      | 59 |
| 结论与展望 .....         | 61 |
| 结论 .....            | 61 |
| 展望 .....            | 62 |
| 参考文献 .....          | 63 |
| 附 录 居民出行调查问卷 .....  | 68 |
| 攻读学位期间取得的科研成果 ..... | 70 |
| 致谢 .....            | 71 |



## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景与意义

#### 1.1.1 研究背景

近年来，我国经济与社会取得了重大发展，居民收入水平也得到持续改善。根据国家统计局数据表明，从 2010 年末到 2020 年末，我国人均可支配收入由 12519.5 元增长至 32189 元，年均增长量达到 1967 元；截至 2020 年底，相较于 2010 年，人均可支配收入提高了 2.5 倍，年均增长 9.9%。随着城镇化的不断提高以及农村人均可支配收入的增加，极大促进了城乡地区的社会生产力和经济活动水平，城乡格局发生了巨大变化，城乡居民的出行也呈现出新的特点。2010 年—2020 年人均可支配收入及增长率如图 1.1 所示。

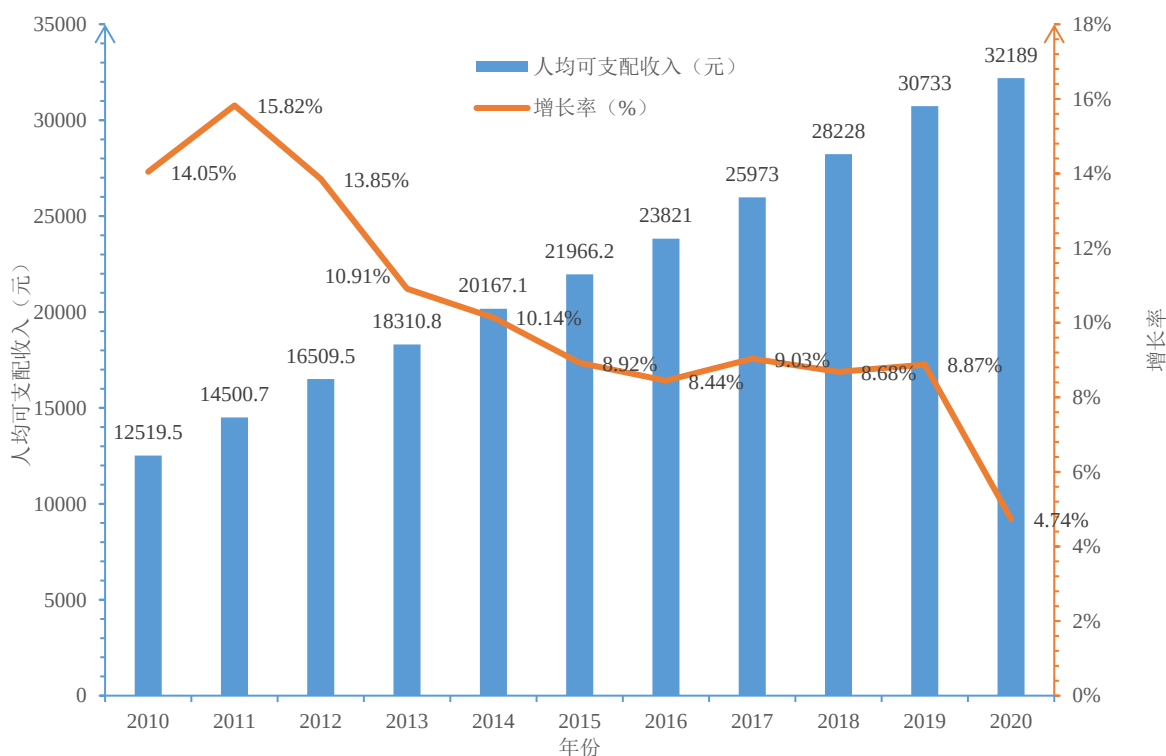


图 1.1 2010 年—2020 年人均可支配收入及增长率

随着城镇化进程的进一步发展，城市与乡村之间的联系往来日趋紧密，城乡之间交流也愈加频繁，城市的范围也越来越模糊不清，缺乏严格的界定和区分，而且越来越多的人选择在城市生活和居住；同时，科技的进步以及交通工具的发展使得人们有了更多的出行方式选择，这些都导致了城乡居民在出行需求方面出现结构性的变化。

由于城乡居民生活水平的改善，人们对出行的要求不断提高，居民拥有私家车的比重进一步增加，城乡地区整体出行机动化水平也在逐渐提高。但与此同时，城乡地区道路基础设施发展水平相对滞后，私家车出行比例的提升和居民出行需求的增加进一步导致交通拥堵，不仅造成交通系统运行效率低下，还增加了能源消耗。虽然城乡公交的开通有利于缓解拥堵，但如何规划公交出行比例依然是个棘手的问题，为此，本文以城乡客运结构为对象，构建基于广义出行费用的客运结构优化模型，确定各交通方式最优出行比例，提高出行效率、降低出行成本。

本研究依托于陕西省交通运输厅科技项目《乡村振兴战略下城乡公交创新融合发展研究》（项目编号：18-27R）。

### 1.1.2 研究意义

客运结构对区域综合交通系统的效率有很大影响，是交通发展规划中的主要研究内容，是解决交通运行效率低下、交通拥堵问题的有效手段。现阶段，对于城乡客运而言如何优化其交通结构尤为重要，不合理的交通结构会直接降低交通系统运行效率，导致交通拥堵；反之，合理的引导改善客运交通结构不仅可以改善出行效率，还可以降低出行成本，优化道路资源配置。为了更好的解决城乡交通问题，本文引入广义出行费用理论概念对城乡客运交通结构进行优化研究，其研究意义如下：

（1）理论意义：本文从城乡客运角度出发构建了客运结构优化模型，并设计快速非支配排序遗传算法对模型进行求解，得到不同出行方式最优的组合比例，弥补了目前对于城乡客运研究的不足，是对该问题研究体系的进一步补充，其研究具有一定的学术研究意义。

（2）实际意义：本文基于提出的城乡客运结构优化模型，以渭南市华州区客运交通结构为实例进行优化分析，对比优化前后的客运结构进行分析，并从优先发展公交的角度提出优化华州区客运结构的相关建议。研究结果对出行者而言，可以降低出行成本，对交通系统管理者而言，可以提高交通运行效率，因此，具有一定的经济和社会效益。

## 1.2 国内外研究现状

本文引入广义费用理论对居民出行成本进行量化从而展开对城乡客运结构的优化研究，主要涉及到居民出行特征研究、出行费用和客运结构优化三个方面的内容。

### 1.2.1 出行特征研究

早期学者分析居民的出行特征多采用集计模型，但当考虑的影响居民出行行为因素较多时，传统的分析方法不能有效的解释出行行为变化的机理，因此，国内外学者开始探索其他的理论方法，可以分析多种因素影响下的居民出行行为，从而分析居民的出行特征及其背后潜在的机理。

#### （1）国外研究现状

国外学者开始利用非集计方法从个人层面来分析居民的出行特征最早始于 20 世纪 60 年代后期，Luce<sup>[1]</sup>首次推导出 Logit 模型，Marschsk<sup>[2]</sup>等人先后改进了 Logit 模型，并将其应用于居民两种出行方式的选择行为分析。此后，学者从个体层面对居民出行特征进行研究的成果越来越多，考虑的因素也越来越多，越来越复杂。Hensher<sup>[3]</sup>考虑到对时间预算的竞争需求和对出行时间节省的评估，从出行链影响个体出行方式选择的角度进行了分析并建立巢式 Logit (Nested Logit, NL) 模型，以确定家庭的社会经济和人口特征对出行链倾向的影响。Bhat<sup>[4]</sup>等使用混合 Logit (Mixed Logit) 模型通过调查收集的居民显示偏好和陈述偏好数据来估计通勤出行方式选择模型，研究结果还表明，出行时间可靠性是通勤出行方式选择决策的一个重要变量。Bharat<sup>[5]</sup>等发现在对居民的出行选择行为进行分析时，公共交通的上下车时间以及步行和骑自行车上班的距离的错误会导致多项式 Logit (Multi-nominal Logit) 模型的参数估计有偏差，此外还讨论了一些潜在的补救措施以克服多项 Logit 的局限。

城市形态和出行行为之间的联系比较复杂，Boarnet<sup>[6]</sup>等认为可以通过系统地隔离城市设计特征对出行的影响，然后分析个人层面的数据，从而更有效清晰地分析城市形态与居民出行方式之间的关联，研究结果表明，土地利用模式对出行行为有着很大的影响，并制定相关措施以降低私家车在出行中的比例。Silva<sup>[7]</sup>等利用结构方程模型 (SEM) 探讨了居民的出行行为与土地利用模式之间的关系，其中出行行为包括通勤距离、汽车拥有量、按交通方式划分的出行量，土地利用模式包括使用类型、交通供应水平、交通和道路基础设施以及可达性指标，结果表明具有不同经济特征的人倾向于在不同的地方工作和生活，但除了经济因素影响之外，土地利用模式也会显著影响出行行为，因此需要重视土地使用政策作为改变出行行为的工具。Aparna<sup>[8]</sup>等研究分析农村道路基础设施的改善和农村小型客运的发展对居民出行行为的影响，发现改善道路基础水平可以明显提高农村地区居民的出行率；而农村小型客运的发展也可有效提升居民的出行率，尤其是吸引原采用自行车出行的居民。

许多出行行为研究都将态度纳入了分析中，他们认为对某种出行方式持积极态度会增加人们在特定出行中选择这种方式的可能性。De<sup>[9]</sup>研究了偏爱汽车、公共交通、自行车和步行的居民是否会真正使用这些方式出行，对比利时 1656 名居民的休闲出行进行了调查分析，结果表明，约有一半的被调查者选择了非首选出行方式，主要出现在公共交通用户中，而在骑车者中最少；此外，研究还发现出行方式失调似乎对出行满意度有重要影响，使用首选出行模式对出行满意度的影响至少与选择的出行模式本身同等重要。主观因素在出行中会发挥越来越重要的作用，为了分析哪些因素对出行方式选择和目的的影响较大，Jeong<sup>[10]</sup>等将影响因素分为出行水平、个人水平和居住小区水平，探讨了出行特征、出行效用、社会经济特征和环境对居民出行方式选择的影响，采用多水平多项式逻辑回归来评估这些要素与出行方式之间的关系。研究确定了影响每种出行目的的出行方式选择的主要影响因素，并通过个人出行调查，分析了总体出行效用与出行方式选择之间的关系。

Lucy Joseph<sup>[11]</sup>等使用 GPS 应用程序比较了快速公交（BRT）实施前和实施后 2 年的个人出行行为以及出行需求的变化，结果表明新的快速公交系统已成为在服务时间内前往走廊沿线固定目的地的主要选择，但由于快速公交线路的使用在空间上受到限制，对于低收入个人来说，通勤到 BRT 走廊外的目的地仍然需要使用其他交通工具；同时，个人出行正在将 BRT 添加到他们的出行链中，以便能够完成更多次数和更远距离的出行。研究结果为交通规划者提供了见解，BRT 无法作为所有出行需求的唯一解决方案，每个交通系统都有自己的空间移动优势。

## （2）国内研究现状

近年来，国内学者一直致力于探究影响个体出行方式选择的因素，以及分析个体出行行为的特征。鲜于建川<sup>[12]</sup>、杨晨<sup>[13-14]</sup>、周雪梅<sup>[15]</sup>以及李志斌<sup>[16]</sup>等构建了 Logit 模型，从摩托车、自行车以及公交车的出行行为入手，分析影响个体出行方式选择的因素以及与替代方式的区别和联系，并提出相关措施建议。

刘月<sup>[17]</sup>探索了多式联运网络中组合出行方式选择的机制，分别设计了短途、中程和长途旅行情景下陈述偏好调查和揭示偏好调查，建立了嵌套 Logit 模型，通过时间估计值和敏感性分析来量化影响程度。结果表明，出行成本对短途出行方式有显著影响；短距离出行时，候车时间是最重要的影响因素；而在中长距离出行时，换乘的步行时间是最重要的因素。此外，出行者对换乘步行时间的减少比增加更敏感。

赵鹏军<sup>[18]</sup>等调查了三种步行方式：通勤步行、生活步行和休闲步行。通过分析基于

TPB 模型概念框架调查问卷的数据,发现步行行为与社区设计以及个人态度和偏好显著相关,高密度、土地利用多样性和步行友好型街道设计可以鼓励步行,但社区设计对通勤步行、居住步行和休闲步行的影响有所不同,社区设计对休闲步行的影响更为显著,而对于乘坐其他交通方式的接驳步行,尤其是通勤步行,与社区设计的相关性较小。

随着互联网的发展,学者们开始通过互联网来对居民出行行为进行调查分析,相比较于传统的调查,利用大数据进行样本调查更加便利有效。苏跃江<sup>[19]</sup>等利用手机信令数据对传统调查方法收集的数据进行矫正并对居民的出行时间分布、OD 分布和出行结构进行分析。魏广奇<sup>[20]</sup>等为了优化公交出行、提升公交服务水平,采集居民公交 IC 卡数据并基于活动理论对居民的公交出行行为进行重构分析,发现居民公交出行规律与其职业密切相关。

### 1.2.2 出行费用

对于出行费用研究国外起步较早,最开始的出行费用研究仅包括了经济成本,后来发现出行时间和舒适度同样是影响居民出行方式选择的重要因素,出行费用不仅包括了经济成本,同时也包括了出行时间成本以及舒适度的影响。

#### (1) 国外研究现状

Kumar<sup>[21]</sup>等根据从印度乡村公交路线上的乘客收集的既定选择数据,对出行的不利因素进行了建模,采用 MNL 模型开发效用方程,并以广义费用的形式估计出行的总效用,研究发现乘客在车时间、发车间隔和舒适度对乘客选择公交车出行有较大影响。

出行时间是最大的出行成本类别之一, Bivina<sup>[22]</sup>从经济成本的角度研究交叉口延误的影响,发现延误造成出行的损失很大,因为延误不仅会造成车辆等待而产生的燃料损失,同时会产生出行时间成本,这是一种机会成本,因行程时间的不可预测性而导致的行程时间可变性损失和车辆运营成本,文章以货币形式估算了延误成本。

大量的研究表明出行舒适度也应作为出行成本的一部分,其中公交车的出行舒适度是研究的重点,也是乘客选择出行方式的关键因素,因此,众多学者对如何评价测量乘客的舒适度展开了研究。Shen<sup>[23]</sup>等从乘客的在车时间和载客量的角度分析了其对乘客舒适度的影响,并提出一种公交车舒适度模型,以帮助政策制定者实施针对性的改进策略。Barabino<sup>[24]</sup>等为了减少对乘客主观感知的依赖,通过将驾驶风格的主观测量与智能交通系统工具收集的纵向和横向加速度的客观测量相结合,建立了一个用于实时测量舒适度的渐进量表,以帮助公交车驾驶员可以实时感知乘客的舒适度。Chin<sup>[25]</sup>等研究了乘客的

乘坐平稳性与智能手机传感器检测到的车辆运动之间的关系，并通过实验进行了验证，结果表明智能手机捕捉到的这些运动学变化可以较准确地反映乘客的乘坐舒适性，准确率约为 90%。

## （2）国内研究现状

公共交通是交通系统内必不可少的一部分，也是缓解交通拥堵，提供出行效率的有效手段，城市轨道交通近年来的兴起势必会增加居民选择公共交通的意愿，但同时也在一定程度上替代了公交车出行。蒋盛川<sup>[26]</sup>等根据乘客对公共交通出行拥挤程度的主观感受分析其对选择何种公共交通展开研究。谢振东<sup>[27]</sup>等利用 IC 卡大数据获取公交客流信息，从时间成本和出行支出两方面剖析了城市居民乘坐公交车的出行成本和规律，为政府制定公交出行的政策提供依据。

顾涛<sup>[28]</sup>等分析了私家车的出行成本构成并在此基础上对其量化研究，探讨交通拥堵对私家车出行成本的影响并从出行成本的角度提出了需求管理措施。考虑到私家车出行占比不断提升，但使用水平却较低，平均载客少于 1.5 人，为了更好地利用私家车资源，于跃<sup>[29]</sup>等提出合乘共享模式，并从出行效用和出行成本两个角度基于演化博弈模型研究分析了私家车合成共享模式的发展规律。

对于多数出行者而言，完成一次出行可能涉及不同的出行方式，所涉及的出行成本计算较为复杂，罗玉芳<sup>[30]</sup>等考虑了出行者主观上对转换出行方式的各因素的评价，将转换成本分为固定转换成本和变动转换成本，构建了不同出行方式的转换成本模型。

### 1.2.3 客运交通结构优化

随着汽车出行量的不断增加，能源消耗和环境污染已成为交通的关键问题。特别是私家车使用量的增加，不仅导致更多的能源消耗和废气的产生，而且使交通结构失衡。因此，有必要建立和优化合理的交通结构，以促进交通的可持续发展，国内外学者就如何优化客运结构展开了不同角度的研究。

## （1）国外研究现状

Feng<sup>[31]</sup>等分析了排放因子对出行者出行路径选择行为的影响，建立了广义出行成本函数，包括排放因子、出行时间和出行时间可靠性，使用 BPR（Bureau of Public Road）函数建立排气量与交通量的关系模型，计算排放相关的出行成本，基于博弈论建立了考虑广义出行成本的路径选择模型，结果表明，出行成本权重系数显著影响出行者的路径选择行为，考虑排放的路径选择模型可减少约为 11.4%路网排放。

Koryagin<sup>[32]</sup>等发现修建额外的道路可能不会对出行时间产生影响,甚至会产生负面影响,而政府通常会选择对私家车实施限制和禁令从而降低交通拥堵,然而,这种解决方案减少了决策自由,也降低了生活质量,因此在综合考虑了乘客、公共交通运营商和政府管理者的利益后建立了不同目标的城市交通系统优化系统,目标函数包括交通成本、公共交通利润、道路成本和出行时间,采用博弈论的方法控制系统,结果证明了三方参与者的无联盟博弈的纳什均衡的存在性。Krushel<sup>[33]</sup>等为了平衡多种运输方式以及乘客间的利益,分别基于矢量分量加权法和切比雪夫均衡构建了客运结构优化模型,结果表明,在不恶化客运服务的情况下,公交车运营商可以提高 20%,同时普通私家车的数量可以减少至少两倍。

Wang<sup>[34]</sup>建立了交通竞争动态博弈模型,采用广义成本法对影响出行方式选择的所有因素进行量化,以广义利润最大化为目标,以环境污染、能源利用和道路服务水平作为各种交通方式的共同约束条件进行建模,从而预测出历史街区交通方式的最优结构和最优份额。Li<sup>[35]</sup>针对不同出行方式的特点,分析研究不同出行方式的交通效用,出行成本以及对生态的影响并基于此构建了多目标模型,采用理想点法、线性加权法和层次序列法对模型进行求解和比较,并根据优化结果向相关部门提出合理的建议。Zhu<sup>[36]</sup>等开发了广义贝叶斯模型来分析随机交通系统的动态行为,在所提出的模型中,连接量和出行时间的可变性源于出行需求、运输供给和路线选择的随机性,研究表明,所提出的贝叶斯模型在任意供需条件下达到用户均衡状态。

## (2) 国内研究现状

刘美银<sup>[37]</sup>等探讨了出行票价对城市居民出行方式选择和城市客运交通结构的影响,研究发现交通系统中各出行方式的优势发挥会受到票价影响,轨道交通票价越低,选择轨道交通出行人数变多,交通系统整体出行时间越短,一个合适的定价不仅可以使轨道交通运营收益得到保证,同时还可以减少居民的出行成本。

慈玉生<sup>[38]</sup>等研究分析了公共交通与私人交通的相互竞争演化关系对城市交通结构的潜在影响,根据经济水平和出行习惯等多种影响因素分别将城市居民划分成公共交通出行群体、私人交通出行群体和混合交通出行群体三个层次不同的类别,构建了城市公共交通方式与私人交通方式的相互竞争演化模型,发现能够有效通过调节这两种交通方式之间的竞争强度或改变不同类别中的城市居民比重来达到平衡公共交通与私人交通的竞争关系的目的。

屈永强<sup>[39]</sup>考虑了交通对生态环境的影响,以交通效用最大化、生态影响最小化、广

义成本最低化为目标构建了客运结构优化的多目标模型，重新规划了客运周转量和分担率，使交通结构符合可持续发展的理念。池俞良<sup>[40]</sup>从城市的可持续发展角度探讨了城市交通的碳排放问题，分析了各种主要交通方式的碳排放量和碳排放强度，并建立了完全分解模型研究分析碳排放的影响因素，结果表明客运量对交通碳排放的影响最大，而随着城市发展，客运量增长速度放缓，城市交通结构对城市交通的影响反而变得更大。陈伟迪<sup>[41]</sup>考虑了目前新能源汽车对交通系统碳排放因子的影响，以碳排放、交通系统运输效率、居民出行成本、交通系统外部成本和服务质量为目标构建了低碳客运结构优化模型得到规划年的最优交通结构比例，结果表明，以轨道交通为主的出行方式是未来低碳城市交通发展的主要方向。

周媛媛<sup>[42]</sup>考虑了交通管理者和出行者两个方面的广义出行费用，研究分析了各交通方式的管理者和出行者的广义费用，基于此建立了城市客运结构优化模型，以北京市为实例验证了模型的有效性，并根据结果分析提出有关北京市交通结构的优化建议和措施。马艳丽<sup>[43]</sup>从用户最优的角度，结合乘客的成本、时间、安全性、舒适性和便利性，建立了广义成本函数，通过概率分布函数建立基于资源约束的客运结构优化模型，并根据客运结构的特点，建立了客运结构评价指标体系。

#### 1.2.4 既有文献评述

通过对现有的国内外文献的梳理，发现现阶段对居民出行特征分析、出行费用以及客运交通结构优化的研究硕果颇丰。关于居民出行特征的研究，学者们逐步转向从居民的个人出行行为进行分析，对居民的各出行方式的特征进行研究分析，并探讨其出行方式的选择行为；在出行费用方面的研究，学者们从最开始的单纯考虑出行的直接经济成本，转向考虑出行整个过程所产生的费用，如出行消耗的时间和出行方式的舒适度影响，重点研究了各出行方式的出行成本构成以及舒适度的评价和测量；学者们对于客运结构优化研究的主要目的是为了缓解交通拥堵以及降低出行成本，主要探讨了公共交通与私人交通间的替代关系，为公共交通的发展提供宝贵的研究依据，并从生态环境的角度分析优化客运结构对城市可持续发展的影响。

国内外学者对于居民出行特征分析、出行费用研究以及交通结构优化的研究方法已日渐成熟，但截至目前，大多研究均以城市居民及其客运交通结构为研究对象，关于城乡地区尤其是乡镇地区的研究较少。

因此，本文在现有的研究成果上，选择城乡地区为研究对象，从交通系统总效用和

城乡居民出行总成本两个角度综合考虑,引入广义出行费用理论,对城乡客运交通结构进行优化,降低城乡居民出行成本,并提高城乡交通系统的运输效率。

### 1.3 研究内容与技术路线

#### 1.3.1 主要研究内容

从客运结构优化的角度,借鉴国内外相关研究,确定本文的研究目标为:针对城乡地区的客运交通,选定样本地区作为调查区域,获得居民的出行特性数据及客运交通现状,引入广义出行费用函数量化居民选用各交通方式出行的总成本,并构建了城乡客运结构优化模型,最后设计算法以华州区客运结构为实例进行验证并对其求解。具体的研究内容为:

##### (1) 城乡居民出行特性研究

基于本文研究所提出的问题,确定研究范围,通过座谈法和问卷调查法对调查区域内居民出行特性和客运状况进行调查,运用统计学的方法对调查结果进行分析处理并从个人特性和出行特性两个角度展开,探讨现阶段城乡居民的出行强度、选择各交通方式在出行中的占比以及各交通方式的出行距离等规律特征,为后续优化模型所需的基础数据奠定基础,并分析城乡道路设施和客运现状存在问题以及城乡居民出行规律变化,为后续提供优化建议做准备。

##### (2) 基于广义出行费用的城乡客运结构优化研究

将城乡客运结构优化问题视为一个多目标规划问题,提出交通系统总效用最大和出行者出行成本最小的客运结构优化的目标。考虑引入广义出行费用函数对出行成本进行计算,从直接货币成本、出行时间成本和舒适度损失成本三个部分对其进行量化,根据对区域的调查获得的居民主要出行方式分别构建各出行方式的广义出行费用函数,为下一步的城乡客运结构优化建模打下基础。

##### (3) 城乡客运结构优化模型研究

基于上述研究,考虑以交通系统总效用最大和广义出行费用最小为目标构建客运结构多目标优化模型,考虑以出行需求和各交通方式的发展规模上下限作为模型的约束条件。对于模型的求解,拟采用帕累托模型的解法,提出使用快速非支配排序遗传算法作为模型的求解算法。

##### (4) 实例验证

运用构建的客运结构优化模型对陕西省渭南市华州区客运结构进行优化,以验证模

型和求解算法的有效性，对比优化前后的交通系统总效用和广义出行费用的变化，并根据分析结果提出华州区的客运结构优化建议。

### 1.3.2 研究方法

本文通过文献分析法对居民出行特性、出行费用和客运交通结构研究现状进行分析，了解现阶段相关研究的趋势和不足之处，通过实地调研法对调研区域居民出行特性和客运现状进行调查分析，为论文研究提供数据基础；运用定性与定量相结合的方法构建了不同出行方式的广义出行费用函数；运用数理建模法构建了基于广义出行费用的城乡客运结构优化模型，并通过实验验证法和算法分析法以渭南市华州区为案例对模型进行分析及求解。

### 1.3.3 技术路线

围绕研究内容本文的技术路线如图 1.2 所示。

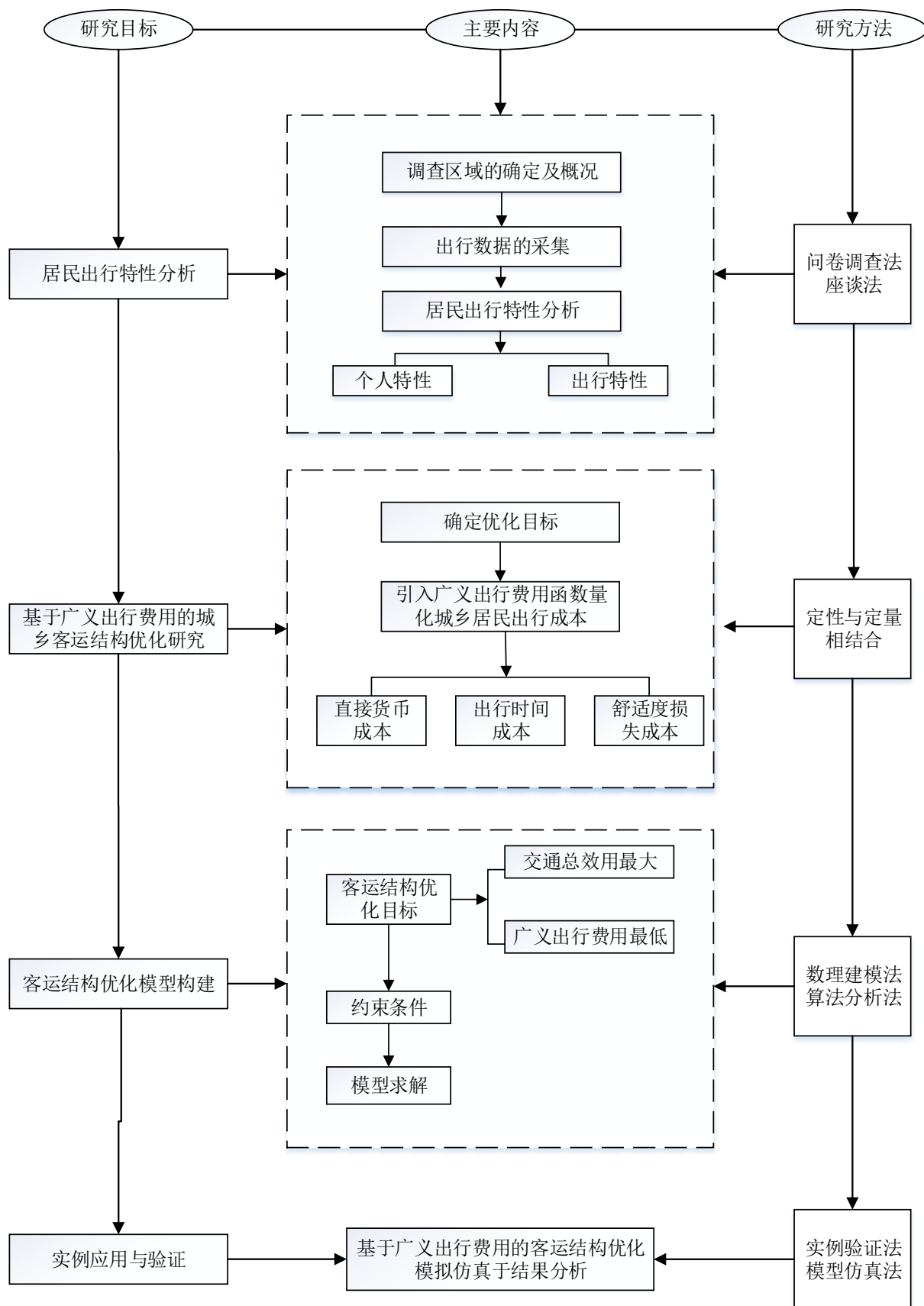


图 1.2 技术路线

## 第二章 城乡居民出行特征调查与分析

近十年来,我国社会经济取得了巨大的进步,城乡格局、地区的交通状况及城乡居民出行规律特征也发生了巨大改变。但在取得飞跃发展的同时,城乡地区客运也已经不适用经济社会的发展,社会和经济水平的提升以及科技的进步导致城乡居民的出行需求发生了结构性的变化。本章通过问卷调查法和座谈会法,对城乡客运现状及问题进行深入调查研究,为城乡客运结构优化提供数据支撑。

### 2.1 数据来源与研究区域概况分析

本文主要调查内容是城乡居民出行特性和客运发展状况,由于调查范围过大难以实施,需要选定一处较小的区域进行调研,因此需要保证选择的区域具有代表性、普适性。为使研究结果能够更好的描述城乡居民出行的一般规律和客运发展水平,对调研地点的选择需要有一定的要求。本研究从区域内的城镇发展水平、道路基础设施状况和客运发展状况三个因素进行考虑,对各地区进行反复考察,最终确定陕西省渭南市华州区作为本次调研的地点。

#### 2.1.1 研究方法与数据采集过程

本次数据采集以陕西省渭南市华州区研究区域,旨在对城乡居民出行特性以及华州区交通基本状况进行调查,华州区交通基本概况主要通过交通运输部门及有关企业进行座谈调查,以问卷调查的形式对区域内居民的出行特性进行采集。

##### (1) 座谈/谈话调查

为了清楚地了解调研区域内客运状况,调研小组邀请了渭南市运输管理处和华州区第二运输公司的相关负责人开展座谈会,咨询华州区目前道路设施状况和发展水平以及公交运营存在的一些问题。图 2.1 为座谈/谈话调查现场图。





图 2.1 调查人员在开展座谈会

### (2) 问卷调查

本次调研根据所需的调查内容进行设计，具体内容见附录 1 所示。根据该问卷对华州区实施调研，获取城乡居民的出行特性及对各出行方式的舒适度调查研究。如图 2.2 所示为调查人员正在进行发放问卷，主要对城乡居民个人状况和出行特性展开调查，其中城乡居民个人出行情况是调查的主要内容，是获得出行特征的基础。其调查的具体内容如下：

- 1) 居民的性别、年龄分布、经济收入等状况；
- 2) 居民出行次数、出行距离、出行方式和出行时间等状况；
- 3) 个人对当前各出行方式舒适度状况的评价。



图 2.2 调查人员在发放问卷

### 2.1.2 调查区域城乡发展水平分析

渭南市作为关中平原的重要城市，城镇化和工业化进程逐步加快，城乡面貌得到明显改观，2019 年城镇化率达到 50.39%。市政基础、配套功能和服务体系不断完善，城乡人口集中、产业分布发展呈现城乡一体化的发展趋势。

目前，渭南市城乡体系庞大，下辖多个城镇，五个等级的城镇个数分别为 1、2、10、15、155，其规模等级、数量均呈现“金字塔”型结构，伴随着城镇人口规模的递增，城镇的数量还在不断增加。渭南市 2019 年各个区县常住人口及城镇化率见表 2.1。

表 2.1 2019 年渭南市各县区人口（万人）及城镇化率（%）

| 县区   | 临渭区   | 华州区   | 潼关县   | 大荔县   | 合阳县   | 澄城县   | 蒲城县   | 白水县   | 富平县   | 韩城市   | 华阴市   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 常住人口 | 91.48 | 31.38 | 15.12 | 68.91 | 43.91 | 37.31 | 73.62 | 27.59 | 74.27 | 39.46 | 24.78 |
| 城镇化率 | 56.42 | 51.91 | 47.5  | 43.87 | 47.31 | 47.36 | 45.59 | 49.05 | 45.19 | 69.89 | 56.41 |

渭南市的地貌特征丰富多样，辖区内共包含有五种不同的地貌单元，每个地貌单元内均分布有多个城镇，其中渭北黄土塬区和渭河冲积平原区内分布的城镇数量较多，乡村聚落分布也比较密集，是渭南市主要经济活动地区。渭南市地貌单元种类和城镇分布具体见表 2.2。

表 2.2 城镇空间分布

| 地貌单元      | 城镇个数        | 占城镇总数的比例（%） |
|-----------|-------------|-------------|
| 北部边缘低山丘陵区 | 9 个（皇甫庄等）   | 8.2         |
| 渭北黄土塬区    | 54 个（蒲城县城等） | 49.1        |
| 渭河冲击平原区   | 35 个（渭南市区等） | 31.8        |
| 秦岭北麓黄土台塬区 | 9 个（丰原等）    | 8.2         |
| 秦岭北坡山区    | 3 个（金堆镇等）   | 2.7         |

### 2.1.3 区域道路基础设施状况分析

渭南市全市 1925 个行政村的道路 100%得到铺装，全市道路状况水平良好，连接市县镇乡的道路更加安全便捷，乡镇通客车率达到 100%，渭南市华州区道路的类型及分布见表 2.3。

表 2.3 华州区道路类型及分布

| 路名   | 长度(km) | 宽度(m) | 沿途乡镇                 | 道路性质 |
|------|--------|-------|----------------------|------|
| 连霍高速 | 27     | 32    | 赤水镇、东赵乡、城关镇、莲花寺镇、柳枝镇 | 高速公路 |
| 榆蓝高速 | 122    | 25.5  | 辛庄乡、赤水镇、圣山乡          | 高速公路 |
| G310 | 27     | 22.5  | 柳枝镇、莲花寺镇、赤水镇、圣山乡     | 国道   |
| S202 | 9.3    | 15    | 金堆镇                  | 省道   |
| X212 | 4.6    | 7.5   | 下庙镇                  | 县道   |
| X217 | 13.5   | 7.5   | 赤水镇、圣山乡、王家庄、         | 县道   |
| X318 | 25.3   | 7.5   | 辛庄乡、侯坊乡、下庙镇、毕家乡      | 县道   |
| X319 | 35     | 7.5   | 赤水镇、东赵乡、城关镇、柳枝镇      | 县道   |
| X320 | 30     | 7.5   | 阳郭镇、花园乡、柳南镇、大明镇      | 县道   |

道路通行能力反映了道路所能承担车辆通过的能力，是评价各种道路与交通设施及管理措施交通效果的基本依据之一。渭南市城乡道路路面本身过窄，均为双向两车道，路肩大多数为软路肩，真正具备通行能力的路面很窄。城乡道路路线长，交叉口多，而且没有全部设置信号灯、摄像头或其他警示标牌，随着近年来车辆的增加，道路通行能力受到了一定影响，道路基础设施现状布局规划如图 2.3 所示。

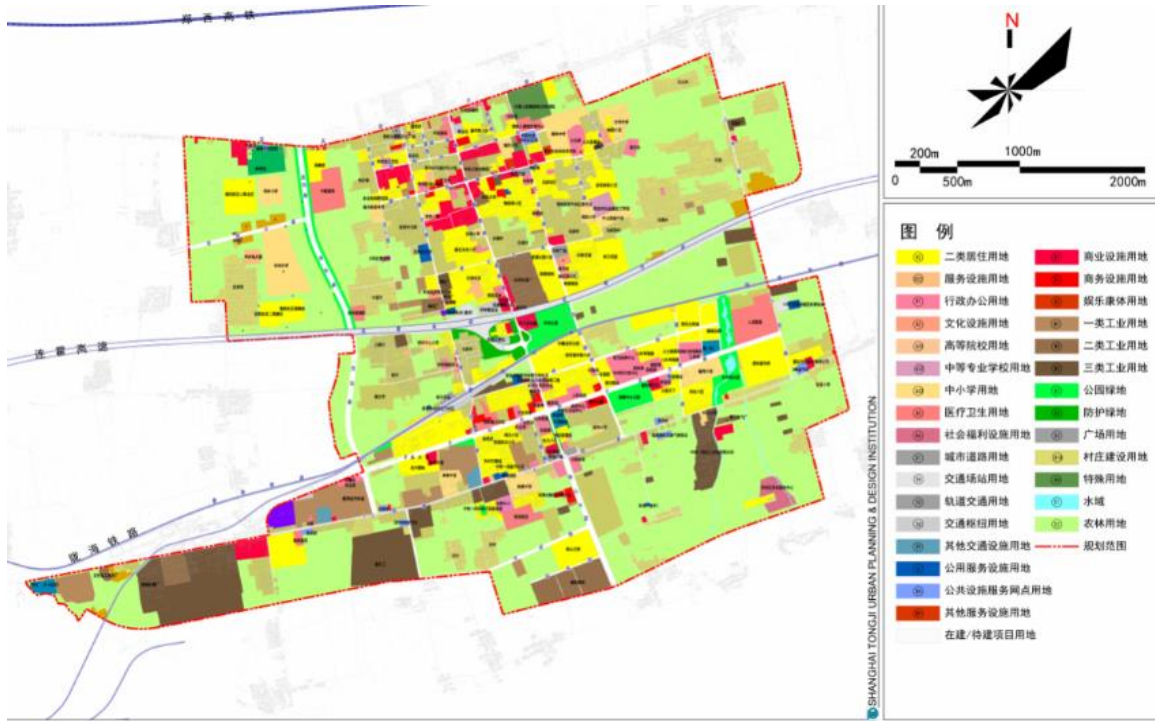


图 2.3 华州区道路设施布局规划

### 2.1.4 城乡客运发展状况分析

客运站和运营车辆的数目在一定程度上可以反映区域的客运发展水平。目前，华州区区内主要有 4 个客运站：华州区客运站、大明客运站、金堆客运站和成龙客运站，各拥有运营车量分别为 101 辆、6 辆、18 辆、6 辆。如图 2.4 所示为华州区客运站的分布情况。

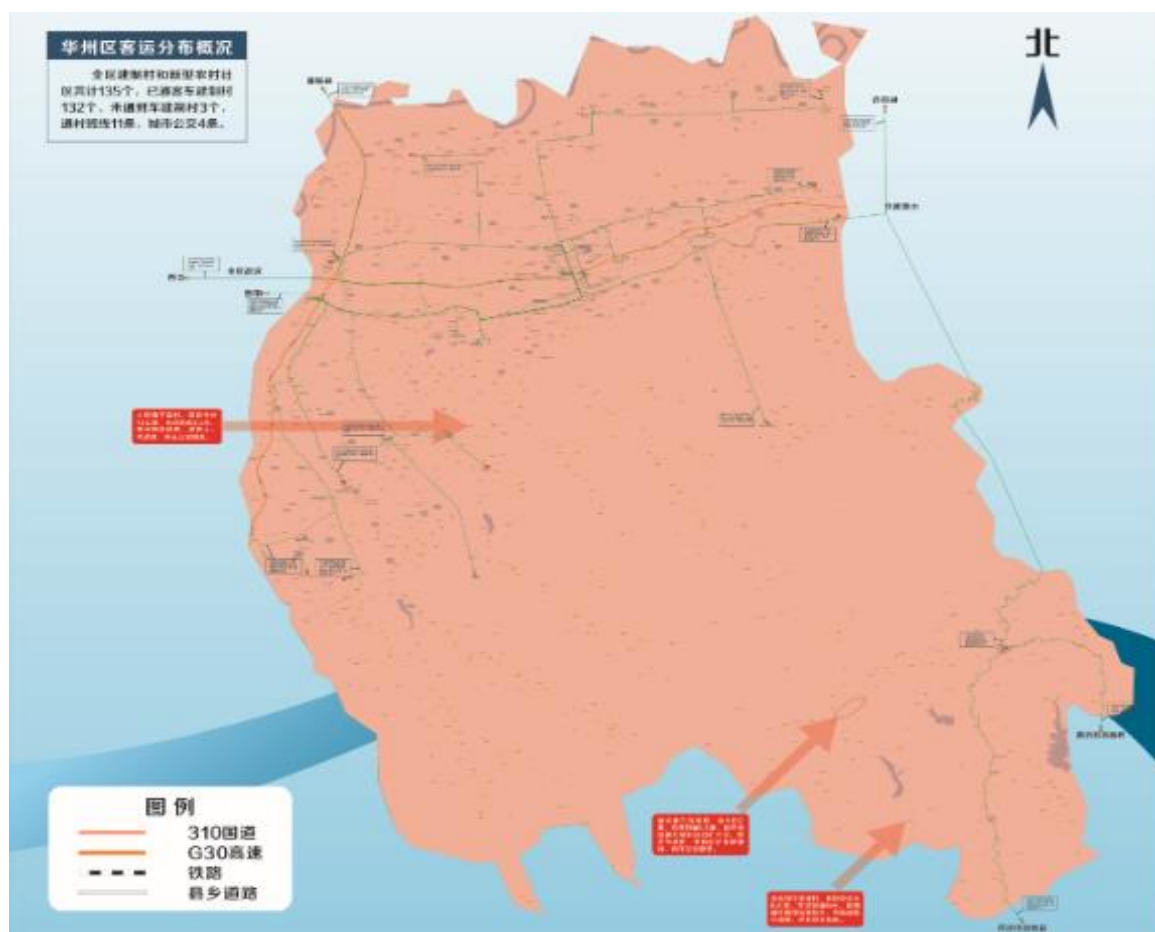


图 2.4 华州区客运运输分布

除客运站以外，华州区的城乡公交的发展水平也得到了进一步提升，公交线网初步成型，覆盖了区域内各个城镇及主要街道。目前华州区内共有 12 条公交线路，共运营 68 辆公交车，车型均为大型客车，运营时间一般从早晨 6:00 至晚上 7:00，公交运营线路总长达 236km，平均运营里程为 19.6km。其中最长运营线路为华州区—渭南线，运营里程为 32.5km，最短线路为莲花寺—少华山线，运营里程仅为 11km。城乡公交线路信息具体见表 2.4。

表 2.4 华州区城乡公交线路

| 序号 | 线路长度<br>(km) | 线路始发点           | 线路主要站点             |
|----|--------------|-----------------|--------------------|
| 1  | 16           | 华州区—柳枝火车站       | 中国石化、龙潭、张桥村、八台村    |
| 2  | 12           | 新华书店—比迪欧        | 商场口、华州铁中、大兴村       |
| 3  | 12           | 公安局—陕化老区        | 步行街口、交警大队、安河       |
| 4  | 15           | 莲花寺—少华山森林<br>公园 | 党家河、冶炼厂、少华山        |
| 5  | 32.5         | 华州区—渭南          | 子仪大街、三小路口、水上乐园、李家堡 |
| 6  | 32           | 华州区—高塘          | 管理站、三小、圣山小学、朱张村    |
| 7  | 24           | 华州区—毕家北拾        | 王什字、下庙镇、毕家村        |
| 8  | 20           | 华州区—赤水          | 君朝、安门前、赤水街道        |
| 9  | 26           | 华州区—大明          | 管理站、钢厂、黄家、孙家堡      |
| 10 | 18.5         | 华州区—柳枝南关        | 南马村、党家河村、柳枝街道      |
| 11 | 11           | 朝阳社区—华惠小区       | 华州区区政府、小广场、杨巷村     |
| 12 | 17           | 华州区—辛庄          | 温巷、贾西村、沙点村         |

## 2.2 城乡居民出行特性分析

本文确定了渭南市华州区为调研区域，并从城镇发展水平、道路基础设施和城乡客运发展状况三个方面介绍了华州区的基本概况，符合本次调研要求。

本次调研对象为华州区城乡居民和华州区客运交通，共发放问卷 1000 余份，通过对收回问卷进行整理筛选，获得有效调查答卷 857 份。其中男性 437 人，占 51%，女性 420 人，占 49%。

### 2.2.1 城乡居民个人特性

经过对调查问卷的整理，汇总得到调查区域内居民的年龄、可支配年收入、私家车辆有无等情况。对区域内居民年龄分布进行统计分析，可以得到调查区域内居民的年龄

分布情况，见表 2.5。

表 2.5 调查区域内居民年龄分布表

| 年龄段 | <18 岁 | 19-26 岁 | 27-34 岁 | 35-42 岁 | 43-51 岁 | 52-60 岁 | >60 岁 |
|-----|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 比例  | 7.3%  | 11.4%   | 19.8%   | 18.2%   | 15.4%   | 13.5%   | 14.4% |

根据表 2.4 所示，通过对被调查人员的年龄分布进行统计，发现年龄为 27-34 岁的城乡居民最多，为 19.8%，其次为 35-42 岁的居民，占比 18.2%，年龄为 43-51 岁、大于 60 岁、52-60 岁、19-26 岁以及 18 岁以下的居民在被调查人员中占比分别为 15.4%、14.4%、13.5%、11.4%以及 7.3%。从表中可以看出，调查样本的年龄分布较为均匀，符合实际情况。

对调查区域内居民的可支配年收入进行统计，得到区域内居民可支配年收入分布见表 2.6。

表 2.6 调查区域内居民年收入分布表

| 年收入 | 5000 元以下 | 5000-10000 元 | 10000-20000 元 | 20000-50000 元 | 50000 元以上 |
|-----|----------|--------------|---------------|---------------|-----------|
| 比例  | 15.4%    | 17.4%        | 20.8%         | 32.1%         | 14.9%     |

根据表 2.6 所示，通过在被调查人员的年收入分布统计，发现在被调查人员中收入呈现两头小中间大的趋势。其中年收入为 20000-50000 元的居民占比最高，达 32.1%，其次分别为 10000-20000 元、5000-10000 元、5000 元以下以及 50000 元以上，占比分别为 20.8%、17.4%、15.4%以及 14.9%。

为了明晰调查区域内私家车保有量，对调查区域内的居民有无私家车进行调查，结果如图 2.5 所示。

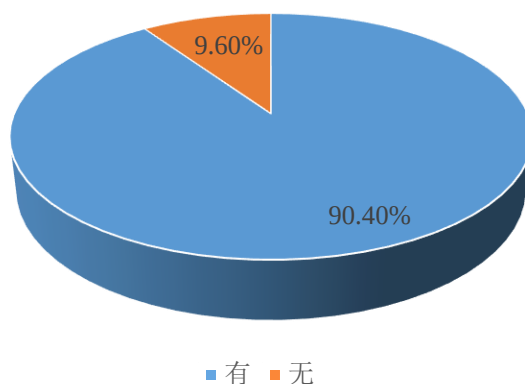


图 2.5 城乡家庭有无私家车比例

从图 2.5 中可以看出,在调查区域内,居民拥有私家车的比例并不是很高,仅占 9.6%,这与当地的经济水平密不可分。在经济水平较高的地方,私家车保有量也就越高,私家车出行在整体出行方式中占比也就越高;反之,在经济水平较低的地方,拥有私家车的居民比例较低,选用私家车作为出行方式的人也就越少。

### 2.2.2 城乡出行特性

城乡居民出行特性调查的主要内容是出行方式、出行次数、出行距离和出行时间这四个方面,本文从这四个方面展开进行详细分析。

#### (1) 出行方式

如图 2.6 所示为调查区域内居民的出行方式分布,从图中可以看出,调查区域内的居民主要出行方式可分为五种,分别为步行、自行车、电动自行车(摩托车)、私家车以及公交车,其中居民选择电动自行车作为出行方式占比最多,达到 47.6%,而自行车占比最低,仅有 4.8%,这是因为在调查区域主要为乡镇地区,出行空间较小,同时地方的经济水平远远不及市区,所以城乡居民普遍采用电动自行车作为出行方式。而随着社会发展水平的提高,乡镇地区居民收入也随之上涨,相比于自行车,人们更倾向于使用经济性和速度较适中的电动自行车,同时近年兴起的共享单车并未普及至乡镇地区,因此城乡居民使用自行车作为交通工具的比例在逐步下降。居民在短距离出行时更愿意步行,占比达 27.4%。由于在乡镇地区公交网络并不是很发达,居民采用公交车出行的便捷度较差,出行占比仅为 11.3%,还有很大的提高空间。

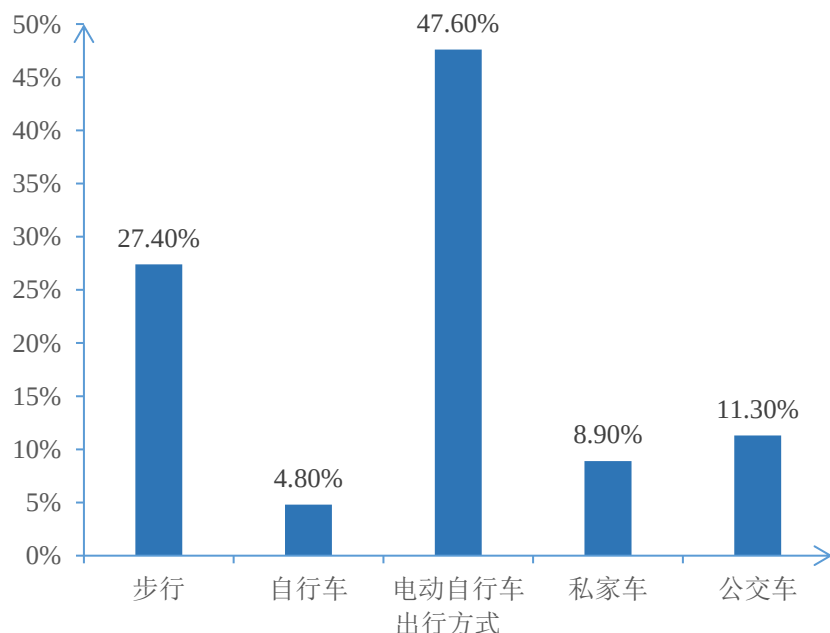


图 2.6 城乡居民出行方式分布

### （2）出行次数

如图 2.7 所示是调查区域内城乡居民人均日出行次数的统计图，从图中可以看出城乡居民人均日出行次数主要集中于 1-4 次，占比高达 91.3%。

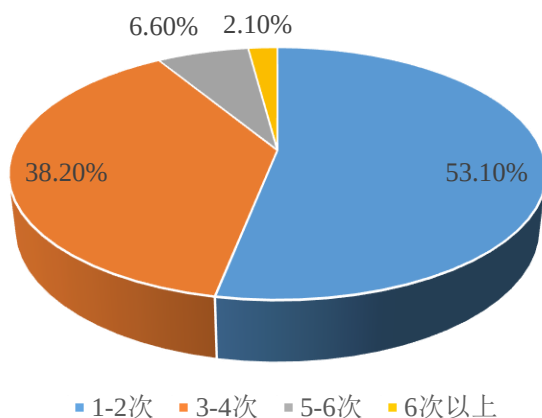


图 2.7 人均日出行次数

相较于城市居民来说，城乡地区居民尤其是农村地区购物需求较低，如无需经常买菜，同时，农村地区的工作大多以务农为主，工作地点在居住地附近，因而总体出行次数比城市居民出行次数要少。

### （3）出行距离

出行距离主要反映了居民出行的行程长短，它是出行强度的重要指标之一。研究区域居民出行距离统计结果如图 2.8 所示。

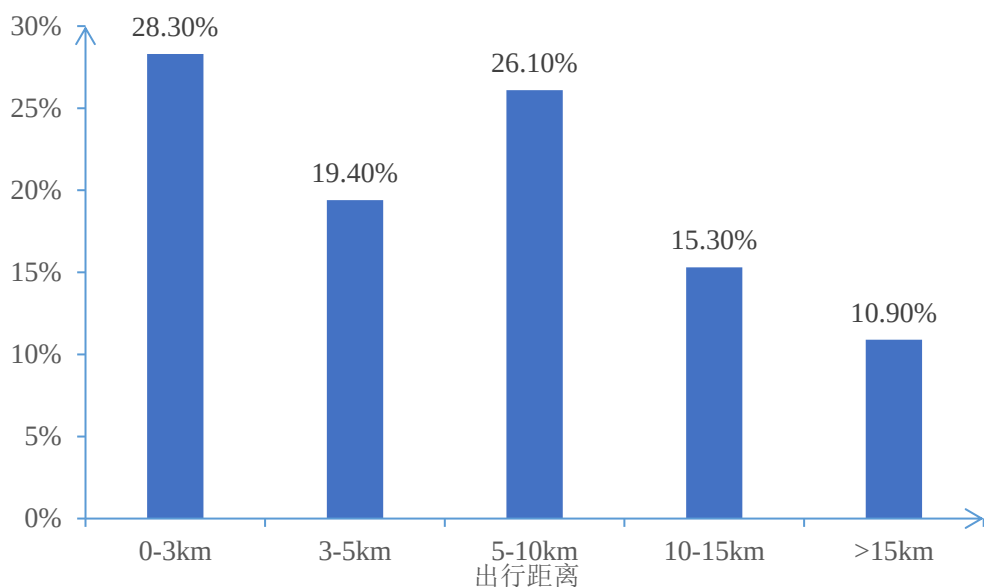


图 2.8 城乡居民出行距离分布

从图中可以看出，城乡居民出行距离基本在 10km 范围内，占比达 73.8%。出行距

离在 0-5km 范围内, 城乡居民多选择步行、自行车、电动自行车出行, 这也比较符合调查区域自行车和电动自行车普及和方便的实际情况, 符合乡镇地区居民短途出行的一般规律。当出行距离为 5-10km 时, 城乡居民的出行方式以电动自行车为主, 这与我国经济的发展水平有很大关系, 人均收入的增加使得人们可以购置更加舒适和速度较高的交通工具, 但城乡经济的发展水平要落后于城市, 因此城乡居民在选用交通工具时, 对经济型还有一定的要求, 而电动自行车比较符合城乡居民的需求, 因此成为城乡居民出行的主要交通工具。而当出行距离大于 10km 时, 城乡居民在长距离出行中选择电动自行车出行占比较少, 主要是出于对其续航的担忧, 因此, 长距离出行时, 城乡居民主要选择乘用公交车或驾驶私家车出行。

根据调查结果分析, 城乡居民选择何种出行方式与其出行距离密切相关, 不同交通方式都有各自的优势, 无法完全替代另一种交通方式。在短距离出行中, 城乡居民倾向于步行和自行车出行, 而对于长距离出行, 出于各种原因的考虑, 城乡居民的主要出行方式为公交车和私家车, 对于中距离出行, 城乡居民更倾向于选择经济性和速度性适中的电动自行车出行。

#### (4) 出行时段

出行时段分布在客观上反映了城乡居民的生活节奏和出行需求在时间上的特征。对城乡居民出行时间分布的研究按照 24 小时出行规律探讨, 通过统计研究区域城乡居民单日出行时段, 分布情况如图 2.9 所示。

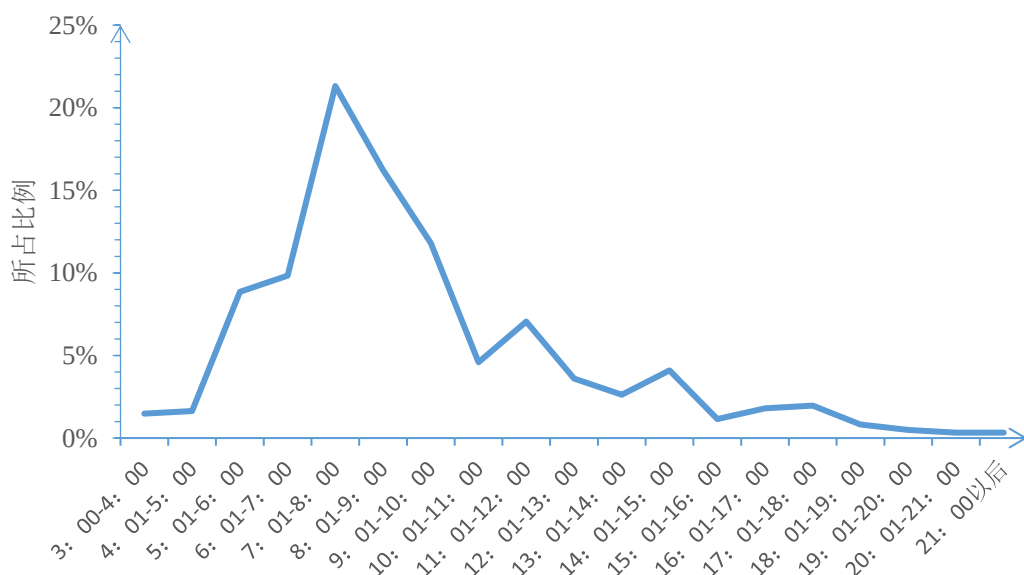


图 2.9 城乡居民出行时间分布

从图 2.9 可以看出, 城乡居民出行活动多发生于上午, 这与城乡居民作息规律有很

大关联，不同于城市区域，城乡居民出行的目的主要为赶集、购物、上学、工作居多，多发生于上午时段；而城乡地区夜晚社会活动较少，居民出行需求随之减少。

## 2.3 城乡道路设施及客运存在问题分析

华州区城乡道路路面较窄，均为双向两车道，路肩大多数为软路肩，真正具备通行能力的路面很窄，车辆会车较困难，遇到大型车辆时，部分乡村道路甚至无法会车，严重影响了道路的通行能力；而且城乡道路路线长，交叉口多，没有全部设置交通信号灯、摄像头或其他警示标牌，近年来道路上行驶的车辆也在不断增多，交通秩序紊乱，增大了城乡居民出行的安全隐患。

除道路基础设施外，城乡客运也存在着一些问题，如城乡公交发车间隔过长，导致乘客候车时间增加，根据问卷对城乡居民乘用公交车时实际候车时间和可接受候车时间的调查分析，得知乘客实际的平均候车时间约为 15 分钟，而乘客可接受的公交车候车时间约为 9 分钟，过长的候车时间势必会减少公交出行的服务水平和乘客对公交的满意度，从而影响公交出行的分担率。城乡居民实际候车时间和可接受候车时间如图 2.10 所示。

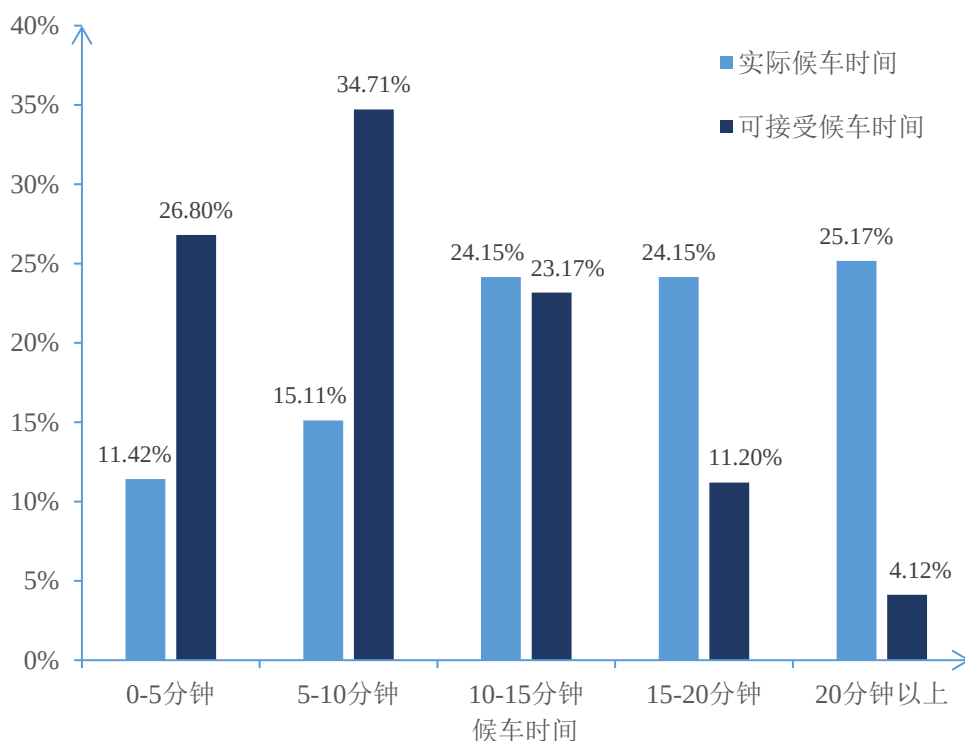


图 2.10 城乡居民实际候车时间和可接受候车时间对比

## 2.4 城乡居民出行规律变化分析

随着城乡之间的交流日益密切，居民在城乡之间的往来也愈加频繁，社会经济和科学技术的发展使得道路基础设施水平不断提高，交通方式不断丰富，这些都导致城乡居民在出行方面发生了结构性变化。根据冯忠详<sup>[44]</sup>对城乡居民出行特性的调查显示，2010年城乡居民平均出行距离约为 6km，与 2019 年（本文调研数据）出行距离分布对比如图 2.11 所示，出行方式分布如图 2.12 所示。

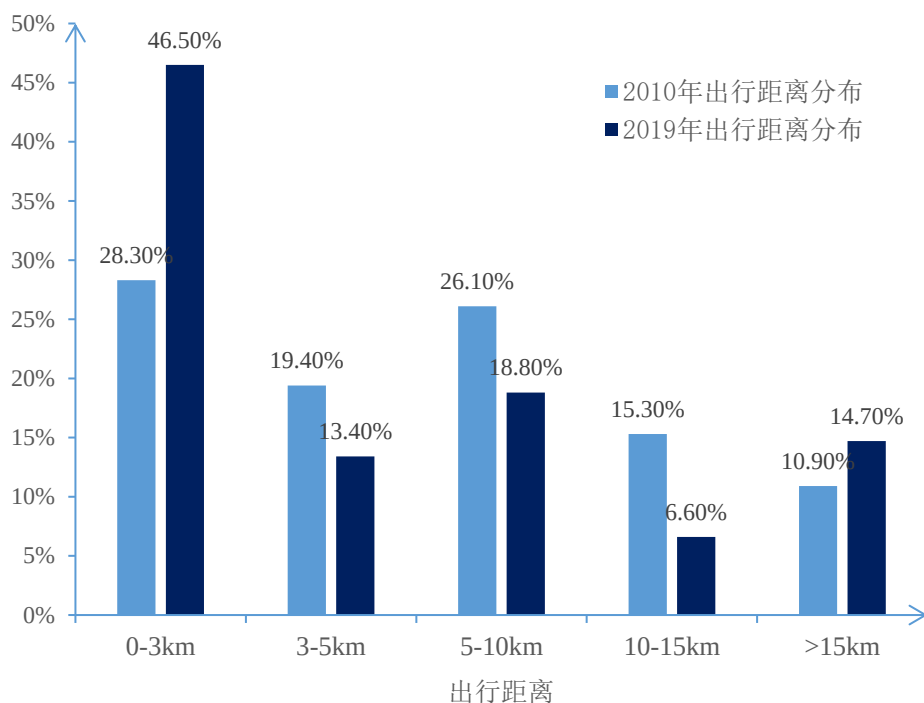


图 2.11 2010 与 2019 年城乡居民出行距离分布对比

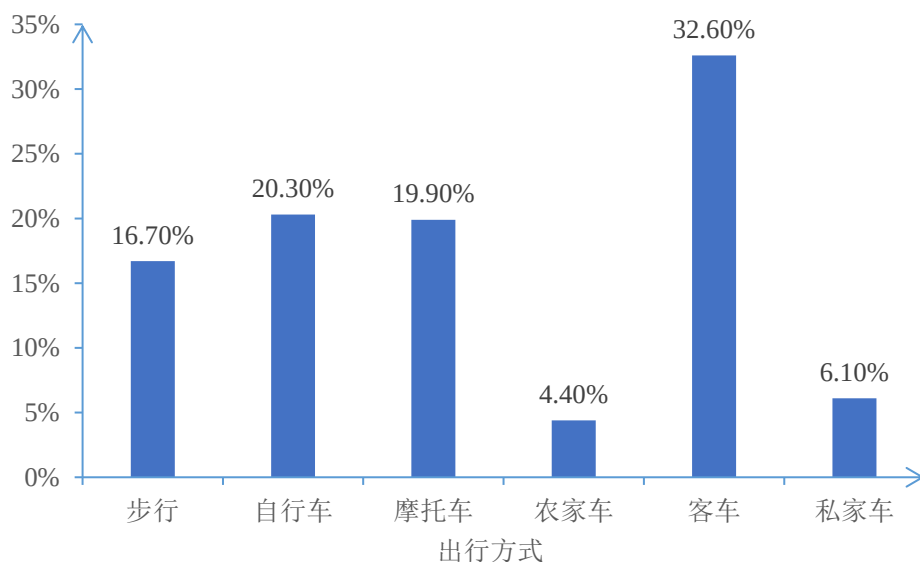


图 2.12 2010 年城乡居民出行方式分布

对比本研究在华州区进行的城乡居民出行调查统计,2019 年城乡居民平均出行距离为 6.9km,较之前明显增加;此外,城乡居民的出行方式也发生明显变化,自行车出行的比例显著下降,电动自行车的普及也在逐渐替代摩托车和自行车,同时城乡公交的开通,为城乡居民提供了更多的出行方式选择,也促进了城乡客运交通结构的改变。

与过去相比,城乡居民的出行强度和出行方式均发生了许多变化,城乡地区客运也已经不适应经济社会的发展,基于此,本文从客运交通结构的角度入手,优化城乡客运结构,使其更适应目前的城乡居民出行规律特征,提高城乡地区交通运输效率。

## 2.5 本章小结

本章从城镇发展水平、道路基础设施和城乡客运发展状况确定调研区域为渭南市华州区,通过座谈法和问卷调查法对调研区域内居民出行特性和客运状况进行调查,获取居民出行和当地交通状况的基础数据,从出行次数、出行距离以及出行方式等特征对城乡居民出行特性进行分析,结果表明,华州区居民出行方式以电动自行车为主,占比达到 47.6%,日均出行次数集中在 1~4 次,出行距离一般在 15km 以内;并对当前道路基础设施和客运存在问题作了进一步分析,探讨了城乡居民出行规律特性的变化,为后文优化建议做准备。

### 第三章 基于广义出行费用的城乡客运结构优化研究

客运结构的合理化和优化是提高区域内交通系统效率的重要手段之一，而客运结构优化的另一个目的是为了降低出行者的出行成本。本章在第二章调研分析的基础上，构建广义费用函数，从步行、自行车、电动自行车、私家车以及公交车的角度分别确定城乡居民的广义出行成本，为第四章搭建基于广义出行费用的城乡客运结构优化模型提供基础。

#### 3.1 城乡客运结构优化分析

交通结构是指出行者采用各种出行方式，如步行、骑自行车、摩托车以及乘坐公交车等的出行量占总出行量的百分比。交通结构作为交通系统中的主要研究内容，在交通发展战略规划方面起到重大作用。交通结构中每一种出行方式都在满足出行者不同的出行需求，通过合理的引导可以保证出行者选择合适的出行方式，从而改善客运交通结构，优化道路资源配置。

交通在经济、环境乃至整个社会的可持续发展中起到了巨大作用，高效的交通系统有助于提高交通资源利用的效率，有效缓解交通供需矛盾。特别是，合理的交通结构有助于减少道路拥堵、出行困难、空气和噪音污染以及其他相关环境问题。

##### 3.1.1 城乡客运结构优化原则

###### （1）满足需求原则

客运系统是现代社会重要的组成部分，需要符合社会的发展，能够满足社会的交通需求，其最基础的功能就是能够完全满足不同出行者不同的出行需求，因此能够完全满足整体交通系统的需求是优化客运交通结构的第一原则<sup>[45]</sup>。城乡客运交通系统的发展应该与其社会经济的发展保持一致，提高公共交通的服务质量和运输能力，不能因节约成本而造成城乡居民出行困难，也不能盲目扩大客运规模造成资源浪费，需要平衡发展，让客运系统的供需相互匹配。

###### （2）总体效益最优原则

客运交通结构优化最重要的目标就是实现总体效益最优，首先需要客运系统实现自身的协调发展，尽可能的以最小的交通资源获得更大的运输能力和运输效率，要求尽量用最经济的交通方式承担出行者的出行需求，让各种交通方式的优势得到充分发挥，以

达到降低出行成本的目标。研究区域内的客运结构优化配置应以出行者出行成本最低和交通效益最大化为准则。这就要求客运交通系统在满足居民出行需求的情况下,按总体效益最优的原则发展。

### (3) 系统结构协调原则

交通系统是一个错综复杂的大系统,系统结构的协调性非常关键。目前我国城乡地区的交通基础设施基本满足居民的出行需求,相比而言,结构问题比发展问题更加严重,且结构问题将变得越来越重要。每种出行方式都有其独自的特点及优势,具有不同的功能和适应性。交通系统内各种出行方式的协调与否是决定整个系统运行效率的关键。当交通系统内各出行方式比例较为协调时,其整体效率会大大增加;但是,组成交通系统的各出行方式比例不协调,会大大影响系统的运行效率。当城乡客运系统的供需达到平衡后,各出行方式依然会存在相互竞争,为了自身利益而无序扩张导致各出行方式间缺乏配合,影响客运系统运行。因此,要合理健康发展城乡客运交通系统,需要科学规划各出行方式比例,充分发挥各自的优势,提高运输效率,为城乡居民提供更高水平的服务质量。

### (4) 因地制宜和可持续发展原则

因地制宜原则即要综合考虑研究区域内的经济发展水平、人口数量以及交通基础设施等因素;可持续发展原则指的是研究区域内客运能力是有限的,要协调好客运系统发展与社会、经济、人口和环境等的关系。城乡客运结构作为城乡交通系统的重要组成部分,其自身的可持续发展是支撑城乡交通可持续发展的前提。城乡客运交通结构不但要充分考虑城乡交通运输本身的功能,同时还要兼顾城乡规划建设环境中的资源环保要求,为了城乡客运系统的可持续发展,不但要给城乡中不同交通方式的出行者,带来便捷、安全、优惠的服务水平,同时还要最大限度的降低能源消耗与污染,提高城市生活质量,形成交通、经济、社会、文化和环境的良性循环。

#### 3.1.2 城乡客运结构优化目标

近年来,人们的生活水准日益提高,城乡居民的出行特征也发生了巨大的变化,人们对于私家车的需求也愈加明显,原来仅在城市的公交车也开始走进了乡镇地区。但目前城乡公交车的分担率还不是很,仍有很大的提升空间,城乡交通结构也不是很合理,由此带来了许多出行问题。

城乡客运交通结构优化的目标主要是在使得城乡居民出行成本尽可能小的前提下,

提高城乡交通系统整体的运行效率，使城乡居民可以根据交通效率来选择适合自己的出行方式。本文引入广义费用函数来量化城乡居民的出行成本，因此本文主要确立了城乡交通系统总效用最大化和城乡居民出行成本最小化的优化目标。

## 3.2 城乡居民广义出行费用研究分析

### 3.2.1 广义出行费用定义分析

出行<sup>[46]</sup>是一种交通行为，是指出行者通过某一种或几种交通方式，从一个地点转移至另一个地点的行为，例如从家乘坐公交车至公司上班，从宿舍步行至食堂。每一次出行都会有相对应的出行费用，出行费用的多少则会影响出行者选择何种出行方式，经济条件较差的出行者更倾向于低费用的出行方式。

狭义上的出行费用指的是出行者完成一次出行所消耗的货币成本，对于多数出行方式，如步行、自行车或一些公共交通，选择这些交通方式出行没有或很少有直接货币成本，但这并不能说这些出行方式的出行费用为零，这不符合现实状况。实际上，出行者不仅要考虑所支付的直接费用，还需要考虑到出行消耗的时间、出行的便利性以及出行环境等因素。而广义出行费用表示的是出行者完成一次出行所消耗的全部费用之和，这些费用包括了直接支付的货币费用以及间接消耗的非货币费用。所以，通过广义出行费用来描述出行者所选出行方式的综合花费能够更好的反映出不同因素对出行者所选择何种出行方式产生的影响。

本文将结合研究区域居民具体的出行方式和调查的实际情况，来建立城乡居民出行的广义出行费用模型。

### 3.2.2 城乡居民广义出行费用构成分析

交通系统中包含了无数的交通出行者，每个出行者均可根据当下已有的交通条件去选择适合自己的出行方式，从而使个人的整体出行利益达到最大化。从出行者的角度来看，影响出行者选择出行方式的因素主要包括直接支付的货币成本和间接消耗的时间成本。

直接货币成本指的是出行者用于出行所花费的货币，如步行出行过程中没有直接货币成本，而选择电动自行车出行的直接货币成本主要是车辆购置费用等；而出行时间成本则表示出行者在一次出行中所花费的时间，对于个人而言，时间也包含着价值。出行者在选择何种出行方式时，除了考虑直接货币成本和出行时间成本外，还会考虑到所选

择的出行方式的舒适度，舒适度会影响出行者在出行时的体验，出行者会优先选择出行舒适度较好的出行方式，因此，出行者的出行成本也会受到舒适度的影响。

因此，本文基于出行的直接货币成本、出行时间成本以及出行的舒适度损失成本建立了广义出行费用模型，如图 3.1 所示。

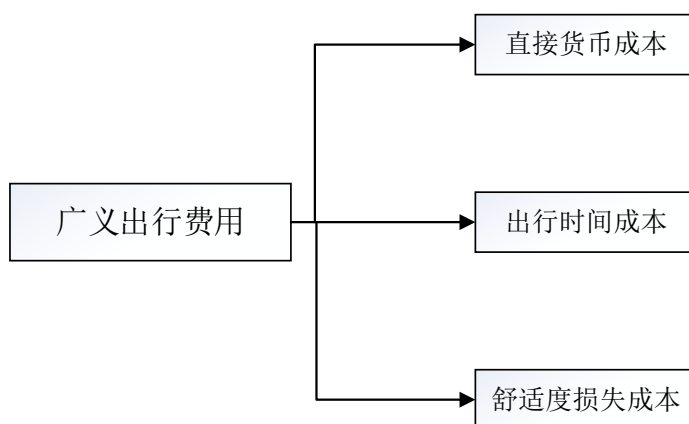


图 3.1 广义出行费用的构成

则广义出行费用可以表示为：

$$C_i = E_i + T_i + O_i \quad (i=1,2,3,4,5) \quad (3.1)$$

式中：

$C_i$ ——第  $i$  种出行方式的广义出行费用成本，元/人次；

$E_i$ ——第  $i$  种出行方式的直接货币成本，元/人次；

$T_i$ ——第  $i$  种出行方式的出行时间成本，元/人次；

$O_i$ ——第  $i$  种出行方式的舒适度成本，元/人次。

其中，字符  $i$  表示的含义见表 3.1。

表 3.1 字符  $i$  表示含义

| $i$  | 1  | 2   | 3     | 4   | 5   |
|------|----|-----|-------|-----|-----|
| 出行方式 | 步行 | 自行车 | 电动自行车 | 私家车 | 公交车 |

根据本次调查，研究区域的出行者主要选择的出行方式为步行、自行车、电动自行车、私家车以及公交车，如图 3.2 所示。

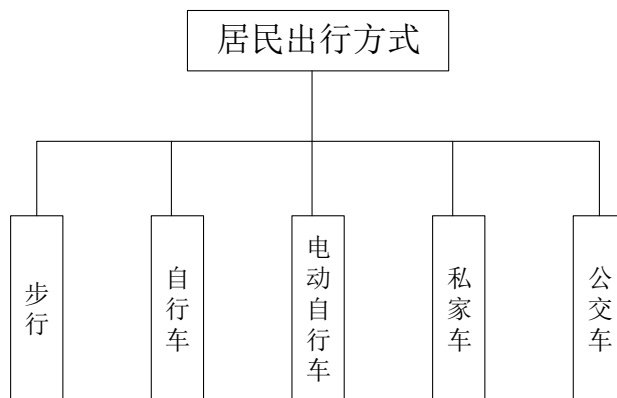


图 3.2 研究区域内的居民出行方式

而出行者选择不同的出行方式，其对应的广义出行费用并不完全一致，故本文按照不同的出行方式来分析广义出行费用的构成。

#### （1）步行出行

当出行者选择步行时，因其不依赖交通工具，所以不会产生直接的货币成本。当选择步行作为出行方式，主要消耗的是出行者的体力以及用于路途上的时间，消耗的体力需要一段时间的休息才能恢复，体力消耗也是影响舒适度的一个重要因素。因此，步行的广义出行费用主要包括出行时间成本和舒适度成本，其构成如下：

$$C_1 = T_1 + O_1 \quad (3.2)$$

#### （2）自行车出行

出行者选用自行车作为出行方式时，不仅需要消耗时间和体力带来的成本，还因需要使用自行车作为交通工具，所以需要承担购买自行车的费用，故直接货币成本也需要考虑到自行车广义出行费用中，故自行车的广义出行费用构成如下：

$$C_2 = E_2 + T_2 + O_2 \quad (3.3)$$

#### （3）电动自行车出行

本次调查中，将摩托车与电动自行车划为一类，由于现阶段燃油摩托车占比较小，为了方便计算，只考虑电动自行车的情况。出行者选用电动车时，其成本构成与自行车类似，出行者除了承担时间成本和舒适度成本之外，还需要承担购置电动车的费用，同时还要考虑电动车需要充电消耗的电费，故电动车的广义出行费用构成如下：

$$C_3 = E_3 + T_3 + O_3 \quad (3.4)$$

#### （4）私家车出行

选用私家车出行时，出行者承担的直接货币成本包括车辆购置费和燃油费等，同时

也需要承担出行时间成本和舒适度成本，其构成如下：

$$C_4 = E_4 + T_4 + O_4 \quad (3.5)$$

#### (5) 公交车出行

公交车作为一种廉价的公共交通工具，出行者在选择公交车作为出行方式时，不需要承担车辆购置费和燃油费，仅需支付票价即可，对于出行者来说，乘坐公交时往往会遇到长时间候车等情况，对于乘车的舒适度会有较大的影响，因此公交车的广义出行费用构成如下：

$$C_5 = E_5 + T_5 + O_5 \quad (3.6)$$

### 3.3 城乡居民广义出行费用函数的确定

在分析了各种出行方式的广义出行费用结构之后，需要进一步量化其各个组成部分的广义费用，本文从直接货币成本、出行时间成本及舒适度成本分别对城乡居民每种出行方式进行分析、明确其费用构成。

#### 3.3.1 直接货币成本的量化

##### (1) 自行车的直接货币成本

因研究区域为城乡地区，共享单车数量较少，因此在考虑自行车的直接货币成本时，不考虑共享单车出行。所以自行车的直接货币成本仅包括出行者购买自行车所消耗的费用，这些费用可摊薄成每次出行需要承担的成本，自行车的直接货币成本为：

$$E_2 = \frac{PE_{bic}}{365N_{bic} \cdot n} \quad (3.7)$$

式中：

$PE_{bic}$  ——自行车的购置费用，元；

$N_{bic}$  ——自行车的使用年限，年；

$n$  ——居民日平均出行次数。

##### (2) 电动自行车的直接货币成本

电动自行车的直接货币成本不仅包括车辆购置费，还包括每次出行消耗的电费，这与电动自行车的出行距离和每公里消耗的电量相关。电动自行车的直接货币成本为：

$$E_3 = \frac{PE_{e-bic}}{365N_{e-bic} \cdot n} + EE_{e-bic} \cdot L_{e-bic} \quad (3.8)$$

式中：

$PE_{e-bic}$ ——电动自行车的购置费用，元；

$N_{e-bic}$ ——电动自行车的使用年限，年；

$EE_{e-bic}$ ——电动自行车每公里消耗电费，元/km；

$L_{e-bic}$ ——电动车的行驶距离，km。

#### （3）私家车的直接货币成本

私家车的直接货币成本较为复杂，出行者不仅需要承担车辆的购置费，还需要承担承担汽车每年的固定成本，包括保险费、年审费以及养护成本，同时出行者还需要承担每次出行的燃油费。私家车的直接货币成本为：

$$E_4 = \frac{PE_{car}}{365N_{car} \cdot n} + \frac{FE_{car}}{365n} + GE_{car} \cdot L_{car} \quad (3.9)$$

式中：

$PE_{car}$ ——私家车的购置费用，元；

$N_{car}$ ——私家车的使用年限，年；

$FE_{car}$ ——私家车每年的固定成本，元；

$GE_{car}$ ——私家车每公里油耗费用，元/km；

$L_{car}$ ——私家车行驶距离，km。

#### （4）公交车的直接货币成本

公交车的货币成本比较简单，出行者仅需承担票价即可。目前常规公交为一票制，全程票价统一。公交车的直接货币成本为：

$$E_5 = PT_{bus} + PT_{bus} \cdot m \quad (3.10)$$

式中：

$PT_{bus}$ ——公交车的票价，元；

$m$ ——公交车平均换乘次数。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/038124131025006037>