

# Research on Characteristics of Highway Passenger Flow Based on Multivariate Data—Taking Ningbo City as an Example

Yu Wang<sup>1</sup>, Zhiyong Hong<sup>2\*</sup>, Biao Fu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ningbo Yongchang Public Transport Co. Ltd., Ningbo Zhejiang

<sup>2</sup>Ningbo Urban Planning and Design Institute, Ningbo Zhejiang

Email: \*hongzhiyong898@163.com

Received: Jan. 1<sup>st</sup>, 2020; accepted: Jan. 14<sup>th</sup>, 2020; published: Jan. 21<sup>st</sup>, 2020

---

## Abstract

The road transport mode has long dominated the city's external travel. However, in recent years, it has faced the dilemma of sharp decline in passenger flow efficiency and weak competition, which has brought confusion to the planning, layout and operation management of highway hubs. This paper combines mobile phone signaling, departmental investigation and pivot questionnaires to obtain basic data of highway passenger flow and analyze it. Based on the traffic model, the competition relationship between the highway mode and the municipal rail transit is analyzed. It is pointed out that the road transportation mode has obvious boundary effect, and the perfection of the public transportation connection system has a significant impact on the boundary effect. Finally, it is suggested that the relationship between the high-speed rail and the municipal rail transit should be co-ordinated in the planning, layout and operation organization of the highway hub, and the public transportation connection system should be continuously improved.

## Keywords

Highway Passenger Transportation Hub, Multi-Data, Passenger Flow Characteristics, Transportation Model, Development Suggestions

---

# 基于多元数据的公路客流特征研究——以宁波市为例

王 愈<sup>1</sup>, 洪智勇<sup>2\*</sup>, 傅 彪<sup>1</sup>

<sup>1</sup>宁波市永昌公共交通有限公司, 浙江 宁波

<sup>2</sup>宁波市规划设计研究院, 浙江 宁波

\*通讯作者。

Email: \*hongzhiyong898@163.com

收稿日期: 2020年1月1日; 录用日期: 2020年1月14日; 发布日期: 2020年1月21日

## 摘要

公路运输方式长期以来在城市对外出行中占据主导地位,但近几年总体面临客流效益急剧下滑、竞争乏力的困境,为公路枢纽的规划布局和运营管理带来了困惑。本文结合手机信令、部门调研和枢纽问卷调查等多元手段,获得公路客流的基础数据并进行分析。基于交通模型分析公路方式与市域轨道之间的竞争关系。指出,公路运输方式具有明显的边界效应,公共交通接驳系统的完善程度对于边界效应具有显著影响。最后,建议在公路枢纽的规划布局和运营组织中应当统筹好与高铁和市域轨道之间的关系,不断完善公共交通接驳系统。

## 关键词

公路客运枢纽, 多元数据, 客流特征, 交通模型, 发展建议

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 研究背景

近几年很多城市面临公路客运量急剧萎缩、竞争乏力的困境,宁波市自2012年以来公路客运总量以平均每年7%的速度下滑[1][2][3][4][5],公路在对外方式中的占比也由2012年的90%下降至45%左右。这给公路枢纽的管理运营和规划建设带来了巨大压力和困惑。国内关于公路客运量的研究目前主要集中在预测方法方面,专门对于公里客运量特征的研究较少。本文结合手机信令、部门调研和枢纽问卷调查等多元数据获取公路客运枢纽的客流特征,分析客流规律,并提出发展建议。

## 2. 数据来源

### 2.1. 手机信令调查

手机信令数据具有调查成本低、样本量大、覆盖范围广、采样频率高等特点,已被广泛应用于人流的时空分布特征的分析,见文献[6][7][8][9][10]。

本文采用中国移动运营商的手机信令数据作为信息本体,其范围包括中国移动在宁波市域和中心城区出现的所有用户。基于对用户隐私的考虑,运营商提供的信令数据对用户ID进行了单向加密,在确保用户ID唯一性的基础上并不包含任何用户信息。宁波手机信令数据主要分析的数据字段包括用户ID(数据脱敏)、时间戳、经度(longitude)、纬度(latitude)、归属地(area\_code)。

由于统计数据均只到2016年,因此分析采用2016年5月~6月的市域移动数据,平均每天用户数约814万,用户日均数据量7.46亿,人均信令92条/日。通过信令数据可以获取枢纽客流的来源、去向和时间特性等特征。

### 2.2. 部门调研

在获得相关主管部门的理解和支持后,由主管部门统筹下发、监督和反馈客运场站现状调查表。本

次调查的主要内容包括宁波市域范围内二级及以上场站的基本信息、运营线路数、班次、历年旅客发送量、历年发送旅客目的地等数据。

### 2.3. 枢纽问卷调查

枢纽问卷调查的目的是为了得到旅客在出行选择、出行态度以及出行目的等方面的信息，手机信令数据和部门调研数据尚难以涵盖此类信息。选择宁波汽车南站和宁波客运中心站两个一级公路客运站的发送旅客进行问卷调查。为了确保问卷的合理性和科学性，首先开展了试调查工作，根据反馈的问题优化问卷和调查方法，再进行一轮验证性调查，从而确保调查结果的稳定性。调查内容包括来源地、目的地、接驳方式、到站耗时、选择公路出行的理由等。正式调查共发放问卷 3720 份，回收有效问卷 3631 份。本文主要用于分析枢纽接驳方式和城市出行者到发枢纽的行程时间影响。

### 3. 数据质量

就枢纽客流量而言，手机信令调查值与部门反馈值的误差总体在 10% 以内，数据可信度较高(图 1)。

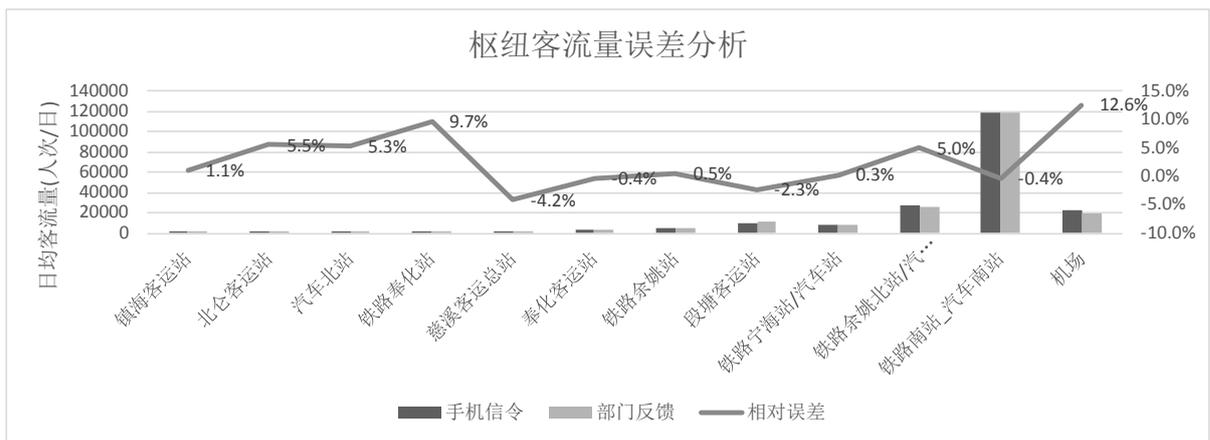


Figure 1. Comparison of total passenger flow from mobile phone signaling and departmental surveys

图 1. 手机信令和部门调研获得的枢纽客流总量比较

就对外交通方式的出行结构来看，手机信令数据与部门调研数据的符合度较高，如图 2 所示。说明手机信令数据用于识别对外出行交通方式可靠性较高。

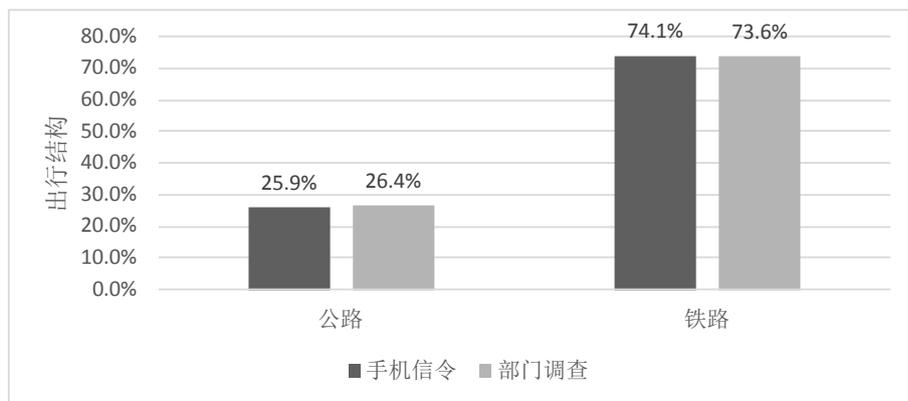


Figure 2. Comparison of travel structure obtained by mobile phone signaling and departmental research

图 2. 手机信令和部门调研获得的出行结构比较

从对外出行方向的比例分布来看,手机信令数据与部门调研数据在公路方式上的误差较小,绝对误差维持在6%以内(图3);但铁路方式的差别较大,主要体现在杭绍方向、嘉兴方向和金丽衢方向(图4)。这与手机信令数据的判别方法有关,手机信令数据依据用户在研究区域内出现的最后一次位置作为方向判断的依据,因此与旅客实际目的地存在一定差别。事实上宁波很多铁路旅客存在绕行情况,如从宁波到丽水、上海、江苏等地的旅客,都会从杭州方向进行绕行。

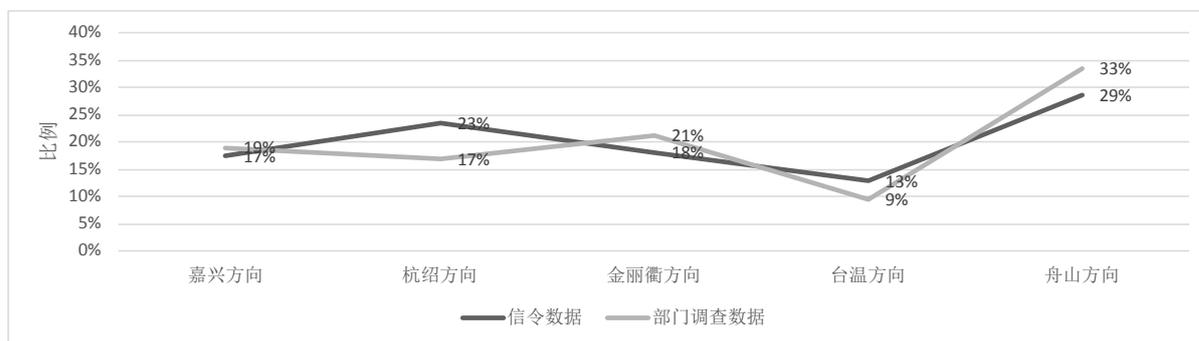


Figure 3. Comparison of the proportion of road travel directions obtained by mobile phone signaling and departmental research  
图3. 手机信令和部门调研获得的公路对外出行方向比例比较

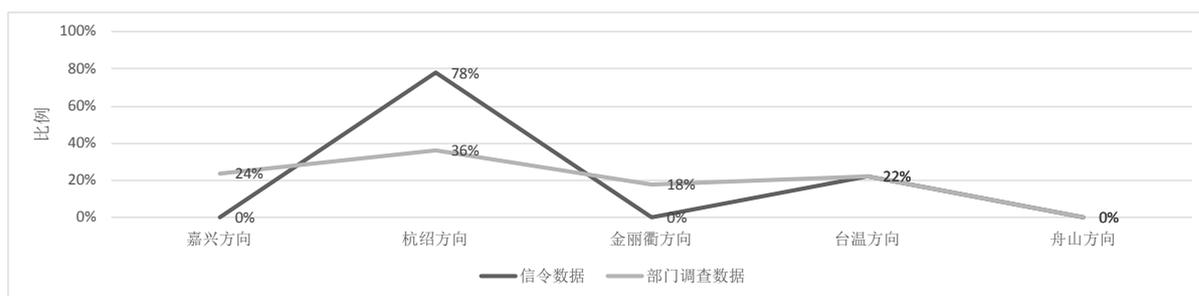


Figure 4. Comparison of the proportion of railway travel directions obtained by mobile phone signaling and departmental research  
图4. 手机信令和部门调研获得的铁路对外出行方向比例比较

## 4. 客流特征

### 4.1. 客运量

从市域内、省内跨市和跨省三个角度观察宁波市公路客运量的变化情况(图5),可以发现,虽然公路客运量总体呈现下降趋势,但市域内公路客运量从2014年开始反弹,且年均增长速度达到9.5%。

2013年导致公路客运量全面下滑的主要原因是宁波高铁的开通,之后省内跨市和跨省客运量持续下滑。市域内公路客运量之所以回升,得益于宁波市大力推进“名城名都”建设,旅游业得到快速发展,短途市内游越来越受欢迎。

### 4.2. 出行距离分布

公路出行具有明显的中短途特征,绝大部分客运量集中在600公里以内。自2013年开始,随着高铁的快速发展,宁波公路方式在300~600公里范围内与高铁的差距进一步被拉开,在300公里范围内的优势也逐渐被赶超。到2016年,省内公路出行和高铁出行的比例已经持平,分别为51%和49%(图6)。

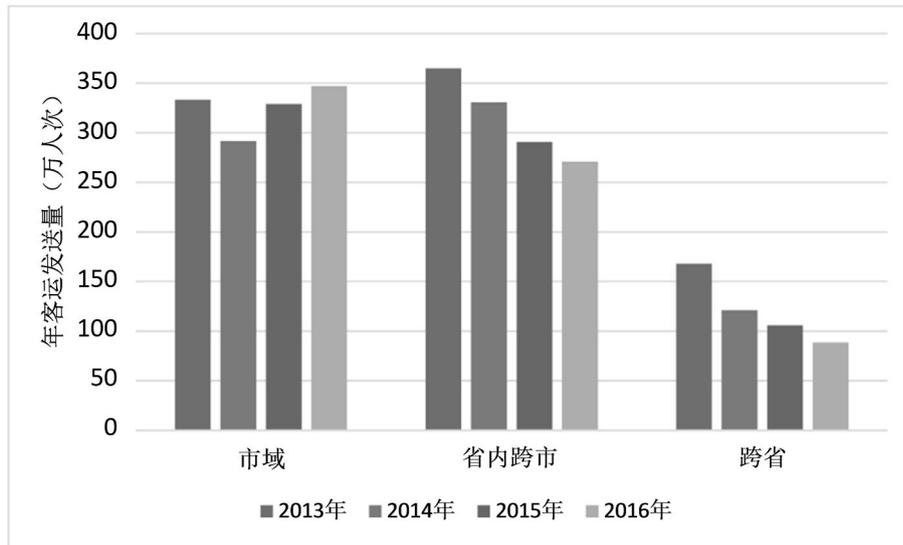


Figure 5. Annual passenger volume of highway hubs above grade two in Ningbo urban area from 2013 to 2016

图 5. 2013~2016 年宁波市市区二级以上公路枢纽年旅客发送量

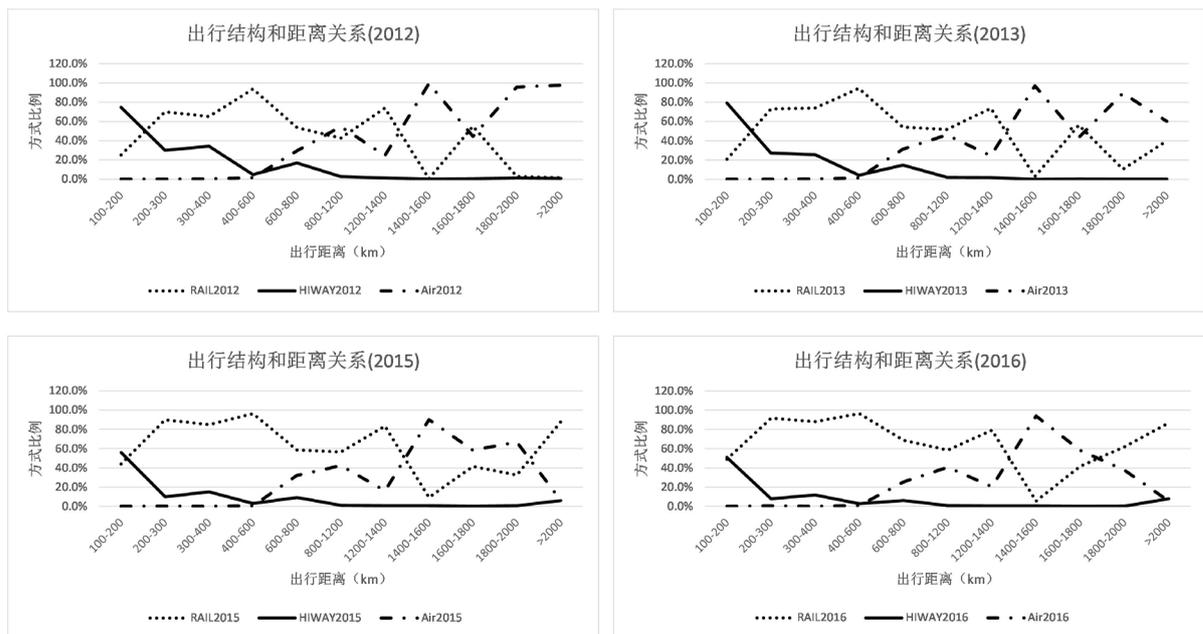


Figure 6. Travel structure and distance relationship over the years

图 6. 历年出行结构和距离关系

分析公路旅客在省内的分布情况，发现公路旅客主要分布在高铁无法直达的区域(图 7)，高铁沿线分布较少，进一步证明了高铁相对于公路方式具有极大的优势，也是导致公路客运量下降的主要原因。

### 4.3. 边界效应

公路方式的边界效应可以从两个角度进行分析，一是从枢纽出发到达目的地的距离边界，已经在前面进行了分析；二是公路客运枢纽的吸引范围边界，即公路客运枢纽在城市内的辐射范围，也是本小节

要进行分析的内容。

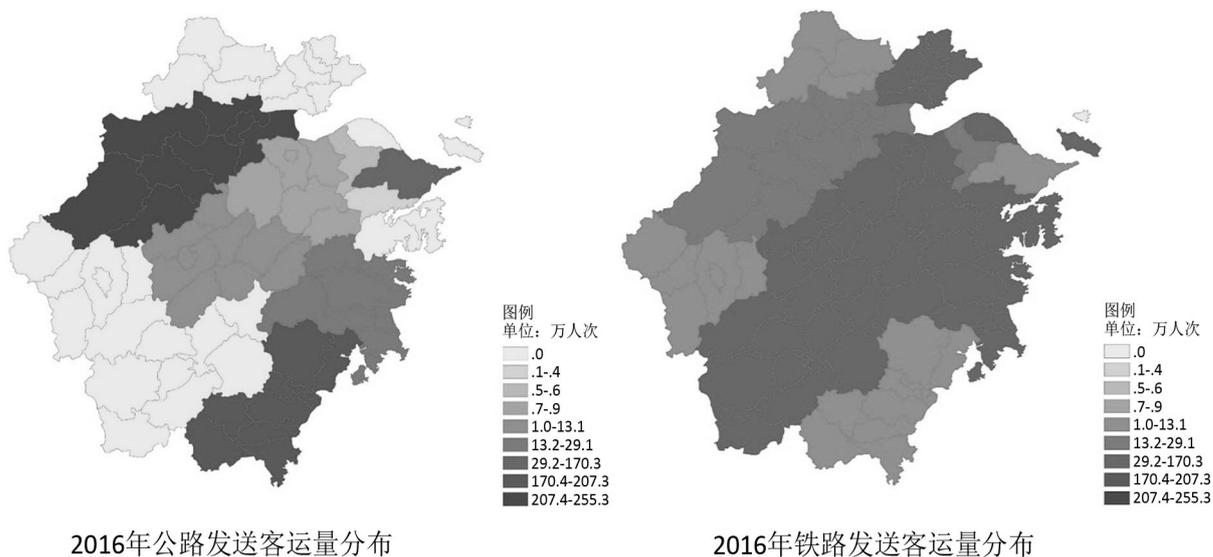


Figure 7. Distribution of Ningbo highway passenger traffic in 2013

图 7. 2013 年宁波公路客运量分布图

总体而言，一级公路客运枢纽的辐射边界在 90 分钟左右，如图 8 所示。二级公路客运枢纽的客流则大部分来源于 60 分钟范围内，如图 9 所示。可见，公路客运枢纽在城市内具有明显的服务边界，因此，做好公路客运枢纽站的规划布局 and 接驳体系及其重要。此外，一级枢纽的辐射边界大致就是宁波市主城区的范围，二级公路客运枢纽的辐射边界大致与宁波组团规模的边界相吻合，如北仑组团、镇海组团等，说明一级公路客运枢纽和二级公路客运枢纽在功能分工上具有显著差异，这种差异体现在宁波市 2016 年二级以上公路客运量中，约 75% 由 2 个一级客运枢纽提供，剩余仅 25% 客运量由 8 个二级站分担，也就是说一级公路客运枢纽的效益直接决定了公路客运枢纽的总体客流效益。

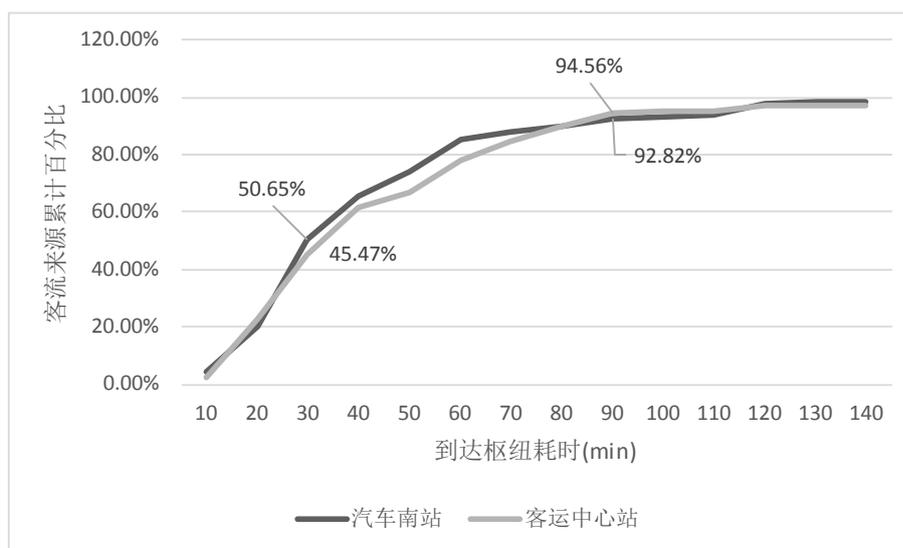
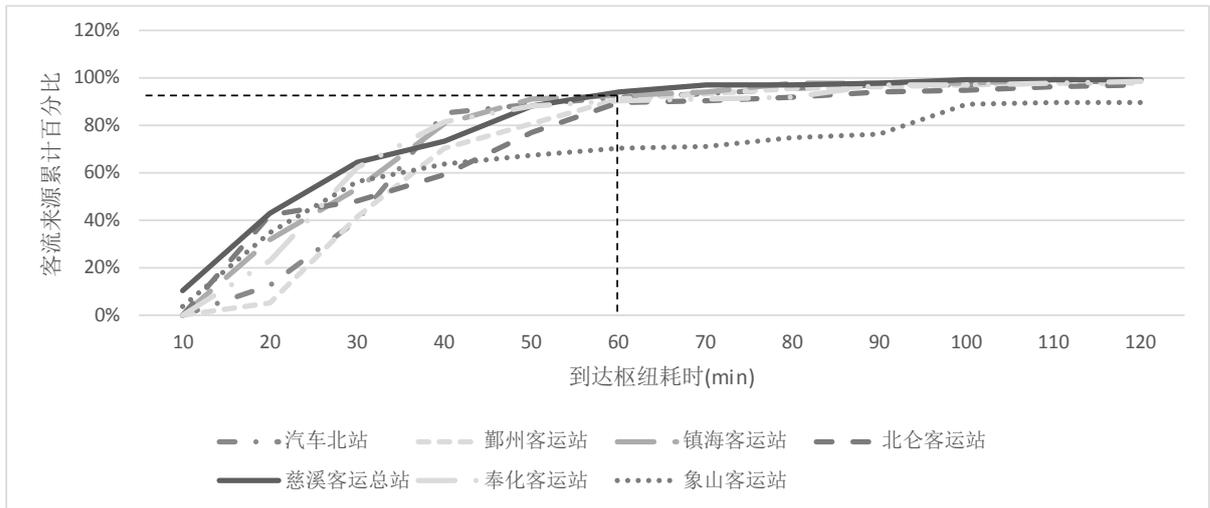


Figure 8. Relationship between passenger flow source ratio and arrival time at the first-class terminal

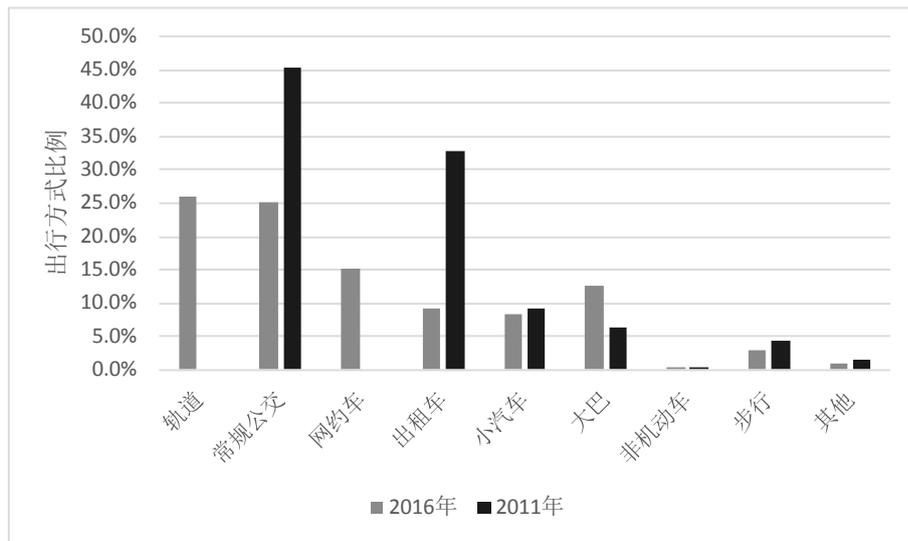
图 8. 一级客运枢纽站客流来源比例与到站时间关系



**Figure 9.** Relationship between passenger flow source ratio and arrival time at the second-class terminal  
**图 9.** 二级客运枢纽站客流来源比例与到站时间关系

#### 4.4. 接驳方式

进一步对公路客运枢纽的接驳方式结构进行分析。发现公共交通在接驳方式中的主体地位非常突出，2016 年全方式占比超过 60%。此外，与 2011 年相比，2016 年公共交通比例得到明显提升，宁波公路客运枢纽的公共交通接驳比例由 2011 年的 42% 上升至 2016 年的 62%，其中一个很重要的原因是城市轨道交通的开通。轨道交通开通不到 2 年的时间里，其在接驳方式结构中的地位已远远超过常规公交，如图 10 所示。从受访者的回复来看，轨道交通的优势主要体现在快速、准时和方便。



**Figure 10.** Structure of transfer mode for Station in 2011 and 2016  
**图 10.** 2011 年和 2016 年公路枢纽接驳方式结构

一般接驳公交线路数量越多，枢纽的公交设施完善程度越高，为了验证枢纽客运量是否与公交设施的完善程度存在较大的相关性，本文用接驳的公交线路数量衡量公交设施的完善程度。对客运量和接驳公交线路数量进行相关性统计分析，发现两者存在较强的正相关性，如图 11 所示。这与前述分析结论相

吻合，由于公共交通在接驳体系中占据主导地位，公交线路的数量很大程度上决定了旅客到达枢纽的便利程度或耗时，因此对于客流量具有显著的影响。

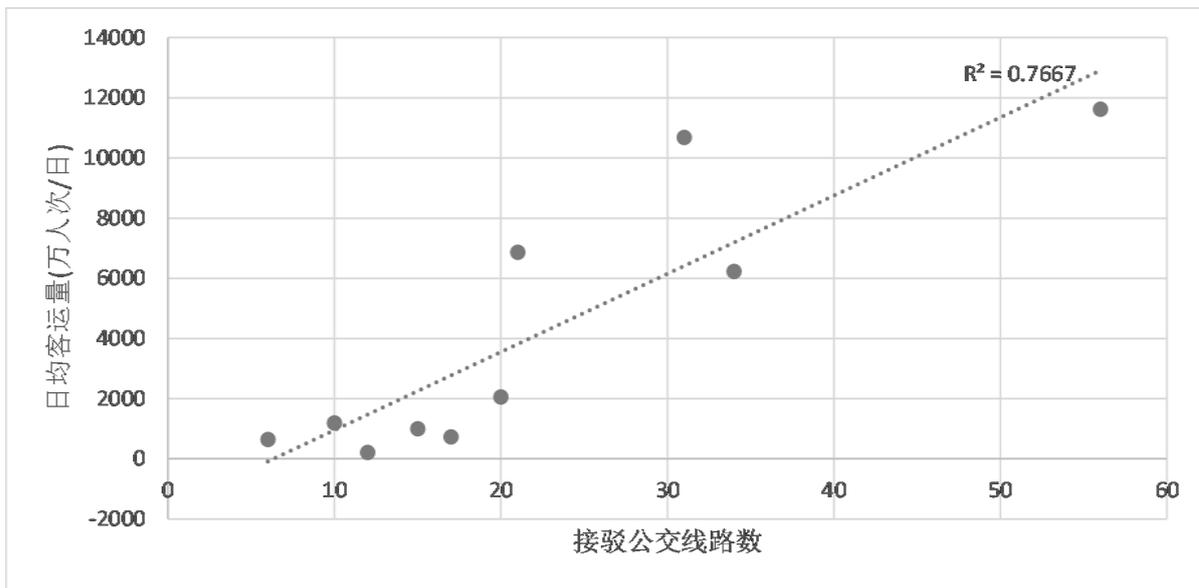


Figure 11. Relationship between hub passenger traffic and the number of connected bus lines  
 图 11. 枢纽客运量与接驳公交线路数量关系



Figure 12. Schematic diagram of demand input and supply input for the model  
 图 12. 模型的需求输入和供给输入示意图

## 5. 市域轨道的影响分析

基于上述分析，轨道交通在公共交通出行中占有绝对优势，因此域范围内的公路出行面临着市域轨道交通带来的竞争压力，市域轨道对于公路客流的影响有多大，是规划布局和运营管理中需要回答的一个问题。但由于宁波市市域轨道交通尚未成形，本文基于交通模型进行分析，模型主要框架和基本参数来自宁波市宏观交通战略模型[11][12][13]。

### 5.1. 模型框架

本文利用 Citilab 公司授权的 Cube 框架作为基础平台，构建公路客运枢纽与轨道交通的竞争模型。模型以现状公路出行 OD 作为输入的需求数据，市域路网和轨道交通线网作为输入的供给数据，模型框架如图 12、图 13 所示。

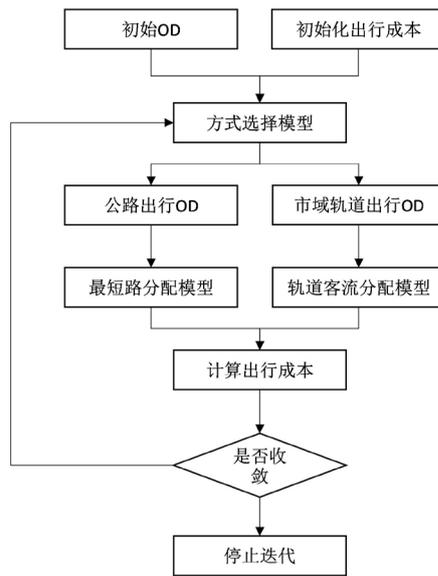


Figure 13. Model flow chart  
图 13. 模型流程图

### 5.2. 模型算法

方式选择模型调用 Biogeme 软件中的多项逻辑特模型(MNL)完成。公路客流分配模型采用了最短路平衡分配算法。轨道客流模型采用的是多路径选择区分公交子方式的 Logit 模型，其公式如下：

$$L_n = \frac{e^{-\lambda(t_n - t_0)}}{1 + \sum e^{-\lambda(t_n - t_0)}} \quad (式 1)$$

主方式承担率：

$$P_m = \frac{L_m}{L_m + L_b} \quad (式 2)$$

$$P_b = 1 - P_m \quad (式 3)$$

子方式承担率：

$$P_{mj} = \frac{L_{bj}}{\sum L_{bj}} \times P_m \quad (式 4)$$

式中:  $L_n$ : Logit 值;  $P_m$ : 轨道分担率;  $P_b$ : 公交分担率;  $P_{mj}$ : 轨道交通某一线路的分担率;  $L_m$ : 轨道方式的 Logit 值;  $L_b$ : 公交方式的 Logit 值;  $L_{bj}$ : 公交方式某一线路的 Logit 值;  $t_0$ : 最佳线路的出行时间, 即最小时耗;  $t_n$ : 第  $n$  条线路的出行时间;  $\lambda$ : Logit 参数, 取 0.09。

### 5.3. 综合成本

公共交通的综合成本定义如下:

$$GC_{ij} = InVeh_T + \alpha \times Acc_T + \beta \times Egr_T + \gamma \times Wait_T + \delta \times Transfer_T + n \times PenB + m \times PenX + Fare/VOT \quad (式 5)$$

$InVeh_T$ : 行车时间;  $Acc_T$ : 到达站点步行时间;  $Egr_T$ : 离开车站步行时间;  $Wait_T$ : 等车时间;  $Transfer_T$ : 换乘时间;  $PenB$ : 乘车惩罚;  $PenX$ : 换乘惩罚;  $Fare$ : 费用;  $VOT$ : 时间价值, 分/小时;  $\alpha$ : 权重系数;  $\beta$ : 权重系数;  $\gamma$ : 权重系数;  $m$ : 权重系数;  $n$ : 权重系数;  $\delta$ : 权重系数。

公路方式的综合成本定义如下:

$$GC_{ij} = InVeh_T + \alpha \times Wait_T + Fee/VOT \quad (式 6)$$

$InVeh_T$ : 行车时间;  $Wait_T$ : 等候时间;  $Fee$ : 乘车费用;  $VOT$ : 时间价值, 分/小时;  $\alpha$ : 权重系数。

模型参数已经在“宁波市交通战略模型”和“宁波市宏观交通战略模型更新与维护”中进行了系统分析和校验[12][13], 本文直接予以采用。

### 5.4. 结果分析

模型设定公路出行的平均票价为 0.8 元/公里, 在此基础上计算不同轨道票价水平下的公路客运量, 得到的结果如图 14 所示。当市域轨道交通的票价水平与公路票价一致时, 公路客运量下降 12%左右, 影响并不显著, 主要是因为市域轨道交通由于存在停站和换乘的影响, 其综合成本并不一定优于公路方式。但根据经验, 城际铁路的定价水平一般在 0.2~0.4 元/公里之间, 这一轨道票价水平下的公路客运量的损失就比较明显了, 其占原客运量的比例为 30%~50%。意味着如果宁波市市域轨道交通开通运营, 市域内的公路客运量将受到明显的冲击。

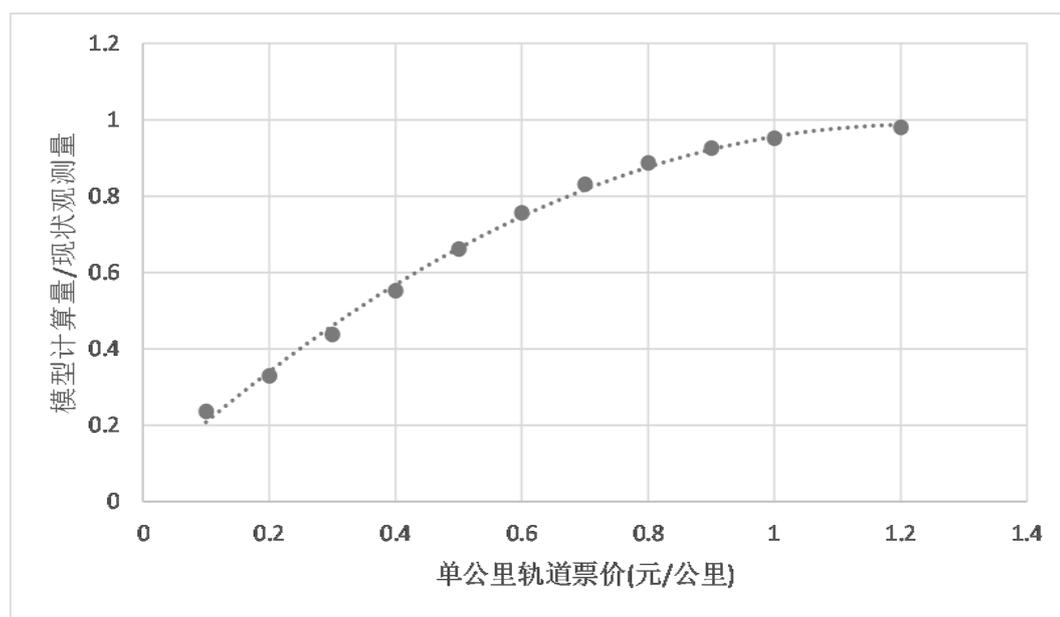


Figure 14. Relationship between city rail fare and road traffic

图 14. 市域轨道票价与公路客流量关系

## 6. 结论

本文基于多元数据对宁波市公路客流特征进行了分析,得到以下结论:

1) 在高铁竞争优势日益凸显的大背景下,公路客流效益的增长极有所转变,这种转变与城市旅游产业的发展息息相关;

2) 公路方式具有明显的边界效应,一方面体现在发送旅客的目的地具有一定的距离边界,也体现在公路客运枢纽在城市内具有明显的辐射边界,但受高铁和市域轨道的竞争影响,但这种效应将逐渐弱化;

3) 公共交通接驳系统的完善程度与枢纽客流密切相关,这一结论的最大的作用在于能够辅助实现功能定位的分工和规划布局的意图;

4) 市域轨道交通的开通运营将对于公路客流早成显著冲击。

基于上述结论,本文建议公路枢纽在规划布局和运营组织中应当充分协调好与高铁和市域轨道之间的关系,形成错误互补而非直接竞争的关系,并充分耦合城市旅游产业发展格局,找到新的增长极。规划布局中应当充分考虑公路客运枢纽的边界效应和研究其公共交通接驳体系,以实现功能定位。

## 参考文献

- [1] 宁波交通运输委员会,宁波市港口管理局. 宁波交通统计年鉴[Z]. 内部资料,2012.
- [2] 宁波交通运输委员会,宁波市港口管理局. 宁波交通统计年鉴[Z]. 内部资料,2013.
- [3] 宁波交通运输委员会,宁波市港口管理局. 宁波交通统计年鉴[Z]. 内部资料,2014.
- [4] 宁波交通运输委员会,宁波市港口管理局. 宁波交通统计年鉴[Z]. 内部资料,2015.
- [5] 宁波交通运输委员会,宁波市港口管理局. 宁波交通统计年鉴[Z]. 内部资料,2016.
- [6] 周涛,赵必成,俞博. 基于CRISP-DM的交通大数据分析方法及实践——以重庆市手机信令数据和RFID数据为例[J]. 城市交通,2017,15(5): 42-51.
- [7] 陈先龙,李彩霞. 交通大数据视角看广佛同城[J]. 城市交通,2017,15(5): 33-41.
- [8] 张天然. 基于手机信令数据的上海市域职住空间分析[J]. 城市交通,2016,14(1): 15-23.
- [9] 宁波市规划设计研究院. 宁波市历史街区保护规划: 基于手机信令数据的现状核心区出行调查[R]. 宁波: 宁波市规划设计研究院,2015.
- [10] 章玉. 基于手机信令的城市群通道出行特征提取方法研究[J]. 综合运输,2017,39(11): 57-62.
- [11] 宁波市规划设计研究院. 宁波市居民出行综合交通大调查[R]. 宁波: 宁波市规划设计研究院,2011.
- [12] 宁波市规划设计研究院. 宁波市战略交通模型构建与应用[R]. 宁波: 宁波市规划设计研究院,2012.
- [13] 宁波市规划设计研究院. 2017年度宁波市宏观交通战略模型更新与维护[R]. 宁波: 宁波市规划设计研究院,2017.